Opdrachtgever:

RIKZ Middelburg

# Effect van ingebruikname Flakkeese spuisluis op de hydrodynamica en waterkwaliteit van het Grevelingenmeer

Rapport

juni 2006

Z4161

WL | delft hydraulics

Opdrachtgever:

RIKZ Middelburg

# Effect van ingebruikname Flakkeese spuisluis op de hydrodynamica en waterkwaliteit van het Grevelingenmeer

Firmijn Zijl en Arno Nolte

Rapport

juni 2006

WL | delft hydraulics

| | |
|---|---|
| OPDRACHTGEVER: | RIKZ Middelburg |
| TITEL: | Effect van ingebruikname Flakkeese spuisluis op de hydrodynamica en waterkwaliteit van het Grevelingenmeer |


SAMENVATTING:

De Flakkeese spuisluis is een hevel in de Grevelingendam tussen het Grevelingenmeer en de Oosterschelde. De Flakkeese spuisluis is al ruim 20 jaar niet meer in gebruik. Na de voltooiing van de Philipsdam had de hevel geen directe functie meer. RIKZ heeft een voorverkenning gerapporteerd naar de mogelijkheden voor de introductie van meer dynamiek in het Grevelingenmeer via de hevel.

Dit rapport richt zich op de effecten die de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis heeft op de hydrodynamica en waterkwaliteit. Deze studie beschrijft vooral de 3D effecten: de mate van stratificatie en de mogelijke gevolgen voor zuurstofloosheid en primaire productie. Dit is gedaan voor een aantal verschillende beheersscenario's. De scenario's variëren met betrekking tot het debiet door de Brouwerssluis, het debiet door de Flakkeese spuisluis en het zoutgehalte van de Oosterschelde ter hoogte van de Flakkeese spuisluis.

De hydrodynamica van de Grevelingen is in een Delft3D model gesimuleerd. Hoewel geen kalibratie is uitgevoerd, reproduceert het 3D model de gemeten watertemperatuur en het gemeten zoutgehalte goed tot zeer goed. Vervolgens zijn de beheersscenario's met het model doorgerekend. Het effect op de waterkwaliteit en primaire productie is op basis van een deskundigenoordeel beoordeeld.

De effecten op hydrodynamica en waterkwaliteit zijn beschreven voor zoutgehalte, mate van stratificatie, nutriëntenconcentratie, primaire productie en flux van organisch materiaal naar de onderlaag, verblijftijd en risico op zuurstofloosheid.

De beheersscenario's waarin het zoutgehalte van de Oosterschelde gelijk blijft aan de huidige situatie, laten ruimtelijk een wisselend beeld zien. Of de waterkwaliteit beter wordt, is derhalve niet generiek aan te geven, maar naar verwachting blijft de waterkwaliteit vergelijkbaar met de huidige situatie. De beheersscenario's waarin het zoutgehalte van de Oosterschelde lager is, resulteren in meer stratificatie, een hogere nutriëntconcentratie, meer primaire productie, en daardoor een hoger risico op zuurstofloosheid.


| | |
|---|---|
| REFERENTIES: | Opdrachtbon 67060082 |

| VER | AUTEUR | | DATUM | OPMERK. | REVIEW | | GOEDKEURING | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.0 | Firmijn Zijl | | 14 juni 2006 | | ir. J.G. Boon | | ir. T. Schilperoort | |
| | Arno Nolte | | | | | | | |
| 2.0 | Firmijn Zijl | | 23 juni 2006 | | ir. J.G. Boon | | ir. T. Schilperoort | |
| | Arno Nolte | AN | | | | | | |
| | | | | | | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| PROJECTNUMMER: | Z4161 | | |
| TREFWOORDEN: | Grevelingen, Brouwerssluis, Flakkeese spuisluis, hydrodynamica, waterkwaliteit | | |
| AANTAL BLADZIJDEN: | 104 | | |
| VERTROUWELIJK: | ☐ JA | ☒ NEE | |
| STATUS: | ☐ VOORLOPIG | ☐ CONCEPT | ☒ DEFINITIEF |

# Inhoud

**1 Inleiding ..... 1—1**

1.1 Achtergrond ..... 1—1

1.2 Doelstelling en aanpak ..... 1—1

1.3 Leeswijzer ..... 1—2

**2 Opzet van het hydrodynamisch model ..... 2—1**

2.1 Inleiding ..... 2—1

2.2 Waterbalans ..... 2—1

2.3 Rekenrooster ..... 2—3

2.4 Bathymetrie ..... 2—5

2.5 Meteorologische aansturing ..... 2—6

2.5.1 Wind ..... 2—6

2.5.2 Temperatuur ..... 2—6

2.6 Overige instellingen en parameters ..... 2—7

**3 Gevoeligheidsonderzoek en verificatie ..... 3—1**

3.1 Gevoeligheidsonderzoek ..... 3—1

3.2 Verificatie ..... 3—2

3.2.1 Tijdreeksen ..... 3—2

3.2.2 Z-t diagrammen ..... 3—7

3.2.3 Dwarsdoorsneden ..... 3—10

**4 Scenario's (berekeningen met Delft3D Grevelingen model) ..... 4—1**

4.1 Definitie van de scenario's ..... 4—1

4.2 Resultaten ..... 4—2

4.2.1 Scenario 0 ..... 4—2

4.2.2 Scenario 1A ..... 4—9
4.2.3 Scenario 1B ..... 4—14
4.2.4 Scenario 2A ..... 4—19
4.2.5 Scenario 2B ..... 4—24
4.2.6 Scenario 3A ..... 4—29
4.2.7 Scenario 3B ..... 4—34
4.2.8 Scenario 3C ..... 4—39
4.2.9 Scenario 4 ..... 4—44
4.2.10 Scenario 5 ..... 4—49
4.2.11 Overzicht van resultaten ..... 4—54

**5 Waterkwaliteit en primaire productie ..... 5—1**

5.1 Denkkader ..... 5—1
5.2 De huidige situatie ..... 5—4
5.2.1 Nutriënten ..... 5—4
5.2.2 Organisch materiaal en chlorofyl ..... 5—5
5.2.3 Stratificatie en zuurstofloosheid ..... 5—6
5.3 Effect van beheersvarianten ..... 5—8
5.3.1 Nutriënten ..... 5—8
5.3.2 Organisch materiaal en chlorofyl ..... 5—9
5.3.3 Mate van stratificatie ..... 5—10
5.3.4 Verversing/verblijftijd ..... 5—11

**6 Samenvatting en conclusies ..... 6—1**

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

De Flakkeese spuisluis is een hevel in de Grevelingendam tussen het Grevelingenmeer en de Oosterschelde. De Flakkeese spuisluis is al ruim 20 jaar niet meer in gebruik. Na de voltooiing van de Philipsdam had de hevel geen directe functie meer. RIKZ (2005) heeft een voorverkenning gerapporteerd naar de mogelijkheden voor de introductie van meer dynamiek in het Grevelingenmeer via de hevel. Qua hydrodynamische parameters – die onder andere met een 2-dimensionaal model werden onderzocht – richtte deze voorverkenning zich op waterstanden, stroomsnelheden en verblijftijden. Tijdens een workshop van het projectteam dat de ingebruikname voorbereid, werd benadrukt dat de 3$^{e}$ (verticale) dimensie niet verwaarloosd mag worden.

In de zuidwestelijke meren die ontstaan zijn als gevolg van de Deltawerken, komt stratificatie voor. Hiervoor zijn twee randvoorwaarden aanwijsbaar. Ten eerste is door het wegvallen van de getijdynamiek relatief weinig stroming en wordt de waterkolom niet meer continu gemengd. Ten tweede is de waterdiepte voldoende groot.

Vervolgens kan stratificatie op twee manieren ontstaan. Als de bovenlaag opwarmt ten opzichte van de onderlaag ontstaat een temperatuurstratificatie. Als water met een afwijkend zoutgehalte ingelaten wordt en dit water niet of beperkt mengt met het aanwezige water, ontstaat een zoutstratificatie. Beide processen kunnen elkaar versterken. In diepe meren is stratificatie derhalve een natuurlijk proces.

Met name voor waterkwaliteitsparameters als zuurstof en primaire productie kan een eventuele stratificatie een cruciale rol spelen. In een gestratificeerde waterkolom is er geen aanvoer van zuurstof naar de onderlaag waardoor die bij een langdurige stratificatie zuurstofloos kan raken. Primaire productie door fytoplankton daarentegen vindt plaats in de bovenlaag. In een gestratificeerde waterkolom wordt fytoplankton niet over de hele waterkolom gemengd, maar juist geconcentreerd in de bovenlaag. In de bovenlaag kan derhalve een bloei van specifieke algensoorten ontstaan.

## 1.2 Doelstelling en aanpak

In dit rapport richten wij ons op de effecten die de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis heeft op de hydrodynamica en waterkwaliteit. Wij doen dit voor een aantal verschillende beheersscenario's. De scenario's variëren met betrekking tot het debiet door de Brouwerssluis, het debiet door de Flakkeese spuisluis en het zoutgehalte van de Oosterschelde ter hoogte van de Flakkeese spuisluis.

In het bijzonder beantwoorden wij de volgende vragen:

- Wat is de verwachte peilvariatie in het Grevelingenmeer als gevolg van de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis?
- Wat is het zoutgehalte en hoe varieert deze in de ruimte en in de tijd?
- Wat is de kans op stratificatie?
- Welke gevolgen heeft de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis op de waterkwaliteit, in het bijzonder de nutriëntenconcentraties, de algenbloei en de algensamenstelling?
- Wat is het risico op zuurstofloosheid?

Voor het beantwoorden van deze vragen maken wij gebruik van een 3-dimensionaal hydrodynamisch model waarmee de mate van peilvariatie, verblijftijd en stratificatie gekwantificeerd wordt. Het 3D hydrodynamisch model is gebaseerd op het 2D SIMONA Grevelingenmodel dat beschikbaar is gesteld door Rijkswaterstaat. Op basis van de uitkomsten van deze berekeningen geven wij een deskundigenoordeel over de effecten op nutriënten, zuurstof en phytoplankton.

## 1.3 Leeswijzer

| | |
|---|---|
| Hoofdstuk 2 | Opzet van het 3D hydrodynamisch model van het Grevelingenmeer |
| Hoofdstuk 3 | Gevoeligheidsonderzoek en verificatie van het 3D hydrodynamisch model |
| Hoofdstuk 4 | Scenarioberekeningen 3D hydrodynamisch model |
| Hoofdstuk 5 | Beschouwing waterkwaliteitsparameters |
| Hoofdstuk 6 | Samenvatting en conclusies |

Een CD is toegevoegd aan dit rapport. De CD bevat de gebruikte gegevens en tevens een uitgebreide set figuren van de uitgevoerde modelberekeningen.

# 2 Opzet van het hydrodynamisch model

## 2.1 Inleiding

Het Grevelingenmeer staat niet in directe verbinding met de open zee. Alleen de Brouwerssluis zorgt voor een nauwe verbinding met de Noordzee. Getij is daardoor niet of nauwelijks aanwezig in het Grevelingenmeer. Het hydrodynamisch systeem laat zich omschrijven als zwak dynamisch. Zonder de menging veroorzaakt door getij kunnen zout- en temperatuursverschillen stratificatie veroorzaken. Deze verschillen worden veroorzaakt door in- en uitstromingen van water met een ander zoutgehalte of temperatuur dan in het Grevelingenmeer aanwezig is. In geval van temperatuur speelt opwarming en afkoeling aan het oppervlak ook een rol. Het ontstaan van stratificatie wordt tegengewerkt door menging ten gevolge van windgedreven stroming. De balans tussen het ontstaan van stratificatie door zoutgehalte- en temperatuursverschillen enerzijds en het opmengen van de waterkolom door windgedreven stroming anderzijds is het belangrijkste hydrodynamische proces in het Grevelingenmeer.

## 2.2 Waterbalans

Het Grevelingenmeer is een gesloten watersysteem. Dit wil zeggen dat het waterpeil bepaald wordt door het verschil tussen de inkomende en uitgaande debieten. Hetzelfde geldt voor het zoutgehalte, dat bepaald wordt door de verhouding tussen het zoutgehalte van het instromende en het uitstromende water (inclusief neerslag en verdamping). Hiermee is de kwaliteit van de invoerdata sterk bepalend voor de kwaliteit en nauwkeurigheid van de berekeningen van het hydrodynamisch model. Voor de temperatuur ligt het iets anders. Daar speelt de warmteuitwisseling met de atmosfeer een grote rol. Deze wordt door het (temperatuur)model berekend.

De onderstaande bronnen (ingaande debieten) en putten (uitgaande debieten) worden onderscheiden. Zie Figuur 2.1 voor een overzicht van de lozingslocaties.

- Brouwerssluis: Deze sluis in de Brouwersdam verbindt het Grevelingenmeer met de Noordzee en zorgt daarmee voor een toevoer van zout water. Vanaf 1999 is er een permanente uitwisseling, met een incidentele sluiting ten behoeve van de visserij (30 dagen regeling). De modeldata bestaat uit debieten berekend uit de waterstandregistraties over de sluis en de schuifhoogten. Bij gaten in de data is aangenomen dat de sluis dicht is. De tijdresolutie van de debietdata bedraagt 10 minuten. Voor het zoutgehalte en de temperatuur van de ingaande debieten is gebruik gemaakt van het gemeten chloridegehalte en temperatuur op locatie BG8 (Brouwersdam zeezijde). Het gemiddelde van boven- en ondersensor waarden is gebruikt. De beschikbare dagwaarden zijn lineair geïnterpoleerd naar 10-minuten waarden.

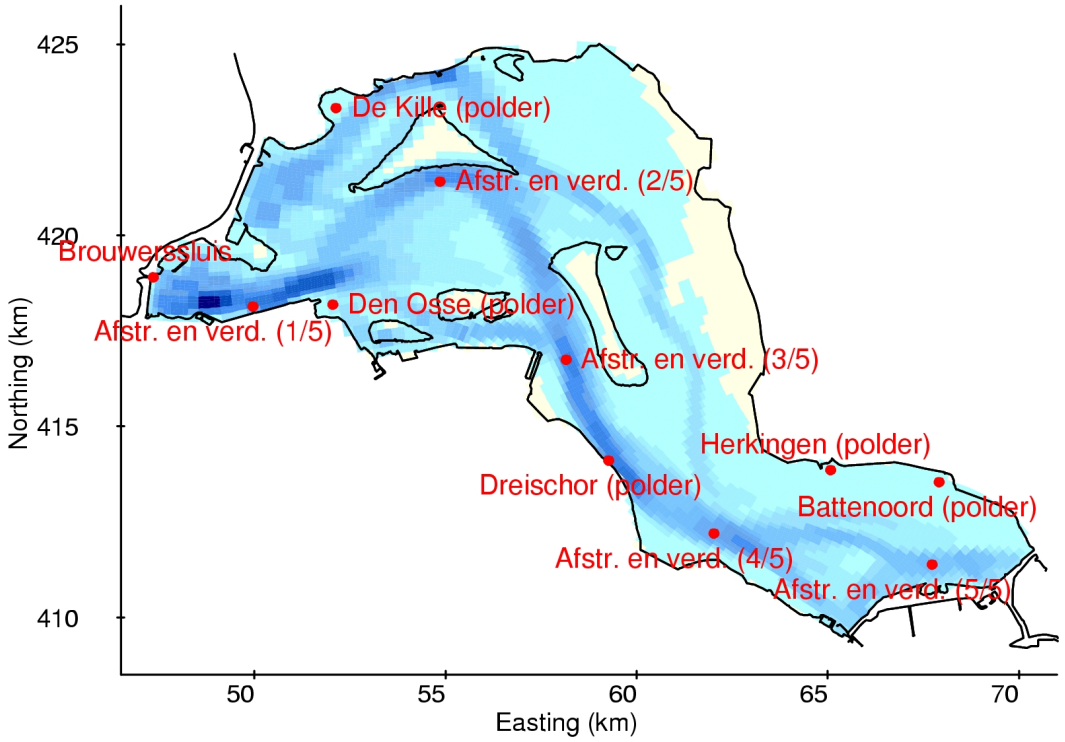
- Neerslag: Voor de invoer van neerslag is gebruik gemaakt van het gemiddelde van de meetwaarden in Dirksland en Brouwershaven (dagwaarden). Indien op een tijdstip

slechts een van de twee waarden bekend is, wordt de bekende waarde genomen; indien beide niet bekend zijn wordt geen neerslag verondersteld. De neerslag wordt verspreid over het wateroppervlak opgegeven.

- Verdamping: Voor de verdamping zijn de gemeten dagwaarden van Wilhelminadorp gebruikt. Gaten in de data zijn lineair geïnterpoleerd. Het verdampingsdebiet wordt verspreid over vijf plaatsen in de bovenste rekenlaag aan het model onttrokken.

- Polders: Voor de polderdebieten zijn maandgemiddelde waarden gebruikt. Vijf polders zijn onderscheiden: Battenoord, Dreischor, Herkingen, de Kille en Den Osse.

- Afstroming: Voor de afstroming van buitendijks gebied zijn maandgemiddelde debieten gebruikt. Het afstromingsdebiet is verspreid over vijf plaatsen in de bovenste rekenlaag van het model toegevoegd.

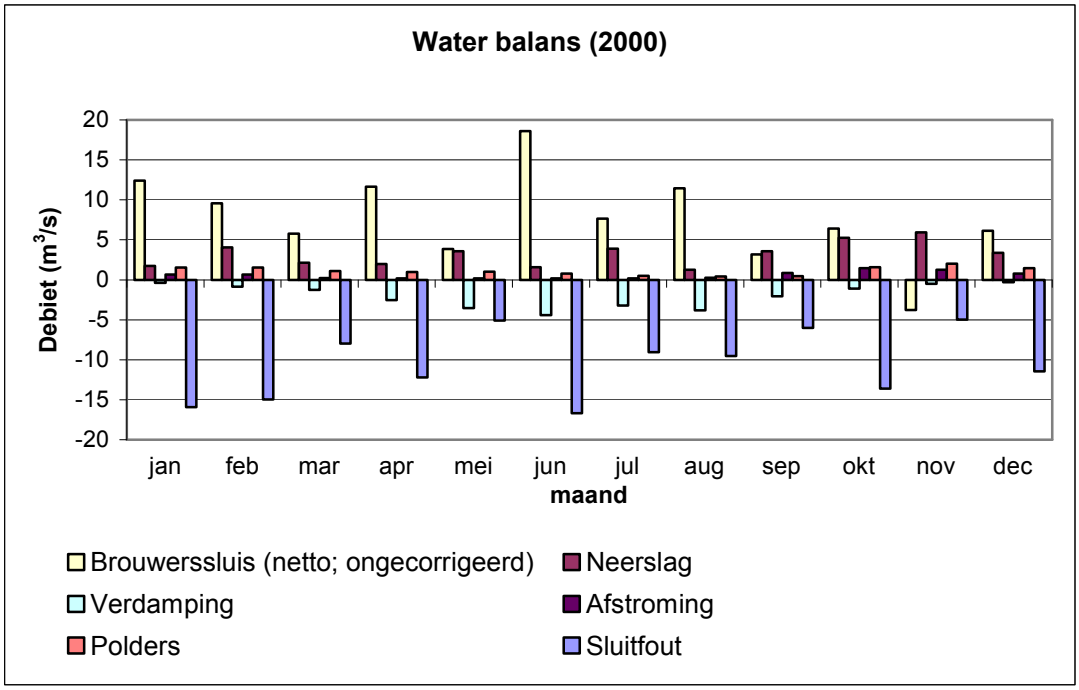



*Figuur 2.1 Overzicht van locaties van puntlozingen. Afstroming en verdamping zijn als puntlozing over vijf plaatsen in de bovenlaag van het model verdeeld.*

Op basis van de gegevens van bovenstaande bronnen en putten is een waterbalans opgesteld. Hieruit bleek dat, uitgaande van de debietdata, het waterpeil in het Grevelingenmeer geleidelijk zou stijgen. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de gegevens een netto instroming via de Brouwerssluis laten zien. In werkelijkheid is er een netto uitstroming door de Brouwerssluis, aangezien het polderwater afgevoerd moet worden.

Daarom is besloten om met de aanname dat het waterpeil over het jaar constant is, de waterbalans te sluiten. Hiertoe is verspreid over elke maand een maandelijks sluitdebiet opgeteld bij het Brouwerssluisdebiet. In werkelijkheid kan de waterstand over de maanden variëren. Kleine variaties in de waterstand zijn echter hydrodynamisch gezien onbelangrijk.

De sluitfout in de waterbalans kan verschillende oorzaken hebben. De belangrijkste oorzaak is waarschijnlijk de onnauwkeurigheid van de metingen, voornamelijk de Brouwerssluisdebieten. Door de Brouwerssluis gaan piekdebieten van meer dan 400 $m^3/s$, in beide richtingen. Bij het aftrekken van twee grote getallen (om tot een netto debiet te komen) kan een kleine meetonnauwkeurigheid in de piekdebieten leiden tot een verkeerd netto debiet. In Figuur 2.2 is een overzicht van de waterbalans van het jaar 2000 gepresenteerd.

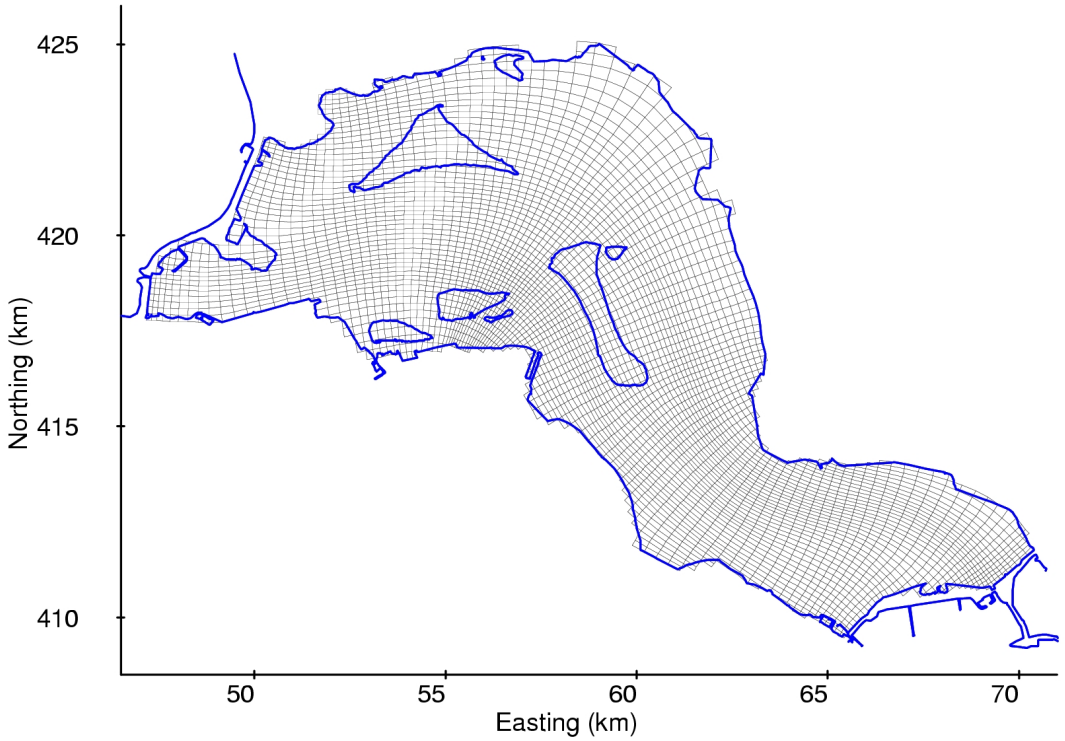



*Figuur 2.2 Waterbalans voor het jaar 2000 (persoonlijke communicatie Herman Haas, RIKZ Middelburg en Piet Lievense, RWS Directie Zeeland).*

De gecorrigeerde debieten in de waterbalans dienen als uitgangspunt voor de modelverificatie. Voor de scenarioberekeningen zal gebruik worden gemaakt van geschematiseerde debieten door de Brouwerssluis (zie paragraaf 4.1).

## 2.3 Rekenrooster

Uitgangspunt bij het maken van het 3D Grevelingen rekenrooster was het 2D rekenrooster van het SIMONA Grevelingen model dat ter beschikking is gesteld door Rijkswaterstaat. Het deel van het oorspronkelijke SIMONA rooster dat de Noordzee besloeg is weggelaten. Het resterende horizontale rooster is met een factor 2 bij 2 vergrofd om tot acceptabele rekentijden van het 3D Grevelingen model te komen. Met deze vergroving van het rekenrooster is een balans gevonden tussen de benodigde rekentijd en een correcte en nauwkeurige schematisatie van de bathymetrie en in het bijzonder de geulen daarin. Aantal actieve rekencellen in de horizontaal bedraagt circa 4200. De celgroottes bedragen 100 tot 250 m, met uitschieters naar 400 m in het uiterste noorden van het model. Zie Figuur 2.3 voor een overzicht van het gebruikte horizontale rekenrooster.

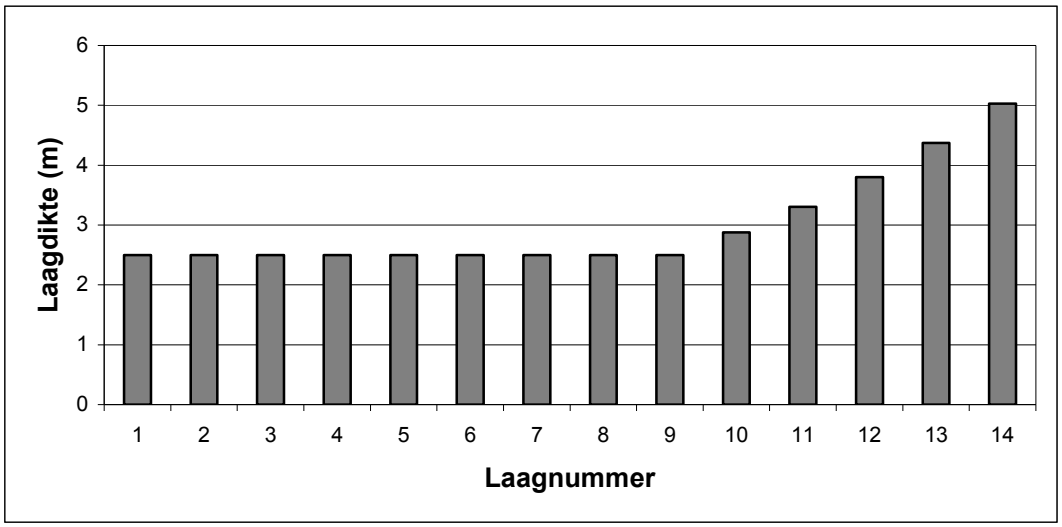



*Figuur 2.3: Overzicht van het horizontale rekenrooster.*

In de verticale dimensie wordt gewerkt met een zogenaamd z-lagen (of vaste lagen) rooster. Dit houdt in dat de verticale roosterlijnen op een vaste diepte liggen en strikt horizontaal lopen. Voordeel van de z-lagen schematisatie ten opzichte van de meer gangbare σ-lagen schematisatie is dat het artificieel opmengen ('creeping') van stratificatie sterk wordt verminderd.
Het maximale aantal verticale rekenlagen dat wordt gebruikt, is 14. Dit maximale aantal lagen wordt alleen gebruikt in de diepste putten van het 3D Grevelingen model. Het aantal rekenlagen dat daadwerkelijk gebruikt wordt, verschilt per locatie, afhankelijk van de locale diepte. De laagdiktes variëren over de diepte, met een laagdikte van 2,5 m in de bovenste laag tot een laagdikte van 5,0 m in de onderste laag. In Tabel 2.1 en Figuur 2.4 is een overzicht van de verticale laagverdeling te vinden.

*Tabel 2.1: Verdeling van laagdikten over de vertikaal – diepten ten opzichte van NAP*

| Laagnummer (vanaf boven) | Laagdikte (m) | Cumulatieve diepte (m) | Laagnummer (vanaf boven) | Laagdikte (m) | Cumulatieve diepte (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2,5 | 0,0 – 2,5 | 8 | 2,5 | 17,5 – 20,0 |
| 2 | 2,5 | 2,5 – 5,0 | 9 | 2,5 | 20,0 – 22,5 |
| 3 | 2,5 | 5,0 – 7,5 | 10 | 2,9 | 22,5 – 25,4 |
| 4 | 2,5 | 7,5 – 10,0 | 11 | 3,3 | 25,4 – 28,7 |
| 5 | 2,5 | 10,0 – 12,5 | 12 | 3,8 | 28,7 – 32,5 |
| 6 | 2,5 | 12,5 – 15,0 | 13 | 4,4 | 32,5 – 36,9 |
| 7 | 2,5 | 15,0 – 17,5 | 14 | 5,0 | 36,9 – 42,0 |

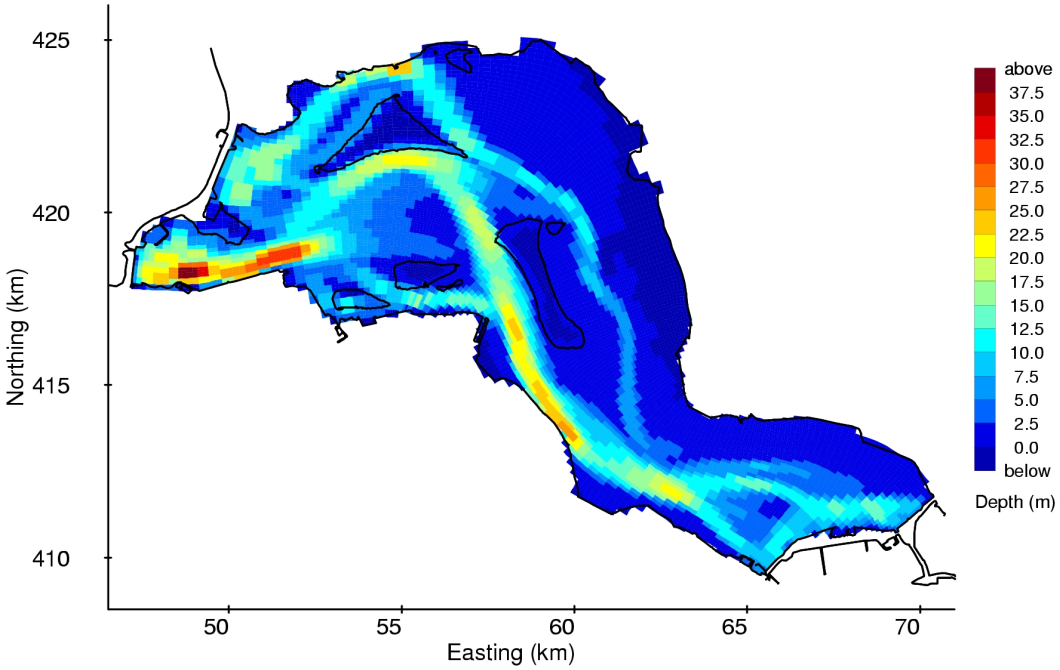



*Figuur 2.4: Verdeling van laagdikten over de vertikaal; laag 1 is de bovenste laag.*

## 2.4 Bathymetrie

De bathymetrie van het Grevelingenmeer is te omschrijven als een geulenstelsel met enkele putten, dat door een ondiep gebied (ca. 1 m diep) met platen loopt. De putten variëren in diepte van circa 20 m tot maximaal ca. 45 m.

Bij het maken van de bathymetrie is gebruik gemaakt van de bathymetrie gegevens van het SIMONA Grevelingen model. In het nieuwe model zijn de dieptes gespecificeerd in de centra van de rekencellen. Deze schematisatie zorgt voor een optimale representatie van geulen op een relatief grof rooster. In Figuur 2.5 wordt een overzicht van de gebruikte modelbathymetrie gepresenteerd.




*Figuur 2.5: Overzicht van de modelbathymetrie.*

## 2.5 Meteorologische aansturing

### 2.5.1 Wind

De windaansturing is van belang voor de aandrijving van de stroming in het Grevelingenmeer. Het ontstaan van stratificatie wordt tegengewerkt door menging ten gevolge van windgedreven stroming. Voor de windaansturing worden dagwaarden van de windrichting en magnitude van meetstation Vlissingen gebruikt, afkomstig van het KNMI. De aansturing wordt uniform over het wateroppervlak toegepast.

### 2.5.2 Temperatuur

Voor de berekening van de temperatuur wordt het 'Ocean Heat Flux' Model gebruikt. Dit temperatuursmodel gebruikt als invoer de luchttemperatuur op 2 m boven het wateroppervlak, de relatieve luchtvochtigheid en de bewolkingsgraad. De bruto zoninstraling wordt berekend op basis van de tijd, de hoogtegraad en de positie van de aarde. De netto zoninstraling wordt dan berekend door te corrigeren voor de bewolkingsgraad.

Voor de meteo-aansturing worden dagwaarden voor de luchttemperatuur, de luchtvochtigheid en de bewolkingsgraad van meetstation Vlissingen gebruikt, afkomstig van het KNMI. Deze aansturing wordt uniform over het modeloppervlak toegepast.

Afregelparameters van het temperatuursmodel zijn de Stanton coëfficiënt voor de convectieve warmte flux en de Dalton coëfficiënt voor de evaporatieve warmte flux. De

uiteindelijk gebruikte waarden, na het gevoeligheidsonderzoek (zie hoofdstuk 3), zijn respectievelijk $3{,}045 \times 10^{-3}$ en $2{,}55 \times 10^{-3}$. De Secchi diepte, die de troebelheid van het water weergeeft, is op 2,0 m ingesteld; voor de luchtdichtheid is een waarde van 1,205 kg/m$^3$ genomen.

## 2.6 Overige instellingen en parameters

*Turbulentie modellering*

In de horizontale richting wordt een constante turbulente viscositeit en diffusiviteit gebruikt. Na gevoeligheidsonderzoek zijn de waarden voor beide ingesteld op 0,5 m$^2$/s.

Voor de verticale turbulentie modellering wordt het k-epsilon model gebruikt. Hierin wordt de menging als gevolg van wind meegenomen als bronterm. Na gevoeligheidsonderzoek is de achtergrondwaarde voor de turbulente viscositeit en diffusiviteit ingesteld op $5{,}0 \times 10^{-6}$ m$^2$/s.

*Bodemwrijving*

Bodemwrijving is meegenomen door een Manning coëfficiënt van 0,020 s/m$^{1/3}$ te specificeren. Deze waarde is overgenomen van het SIMONA 2D Grevelingen model.

*Initiële condities en inspelen*

Alle modelberekeningen zijn gestart met een uniform zoutgehalte van 27 ppt en een uniforme temperatuur van 5 graden. In alle gevallen is het inspelen op 1 januari 1999 gestart. De gebruikte inspeeltijd bedraagt een jaar. Gezien de basingemiddelde verblijftijd van orde 2 maanden is het nauwkeuriger vaststellen van de initiële condities overbodig.

*Tijdstap en rekenduur*

De gebruikte tijdstap bedraagt 2,0 minuten. De geschiktheid van deze tijdstap is bevestigd door gevoeligheidsonderzoek. De rekenduur van het 3D Grevelingen model voor een jaarsimulatie bedraagt ongeveer 1 dag per doorgerekend jaar op een 3,6 MHz processor.

# 3 Gevoeligheidsonderzoek en verificatie

## 3.1 Gevoeligheidsonderzoek

Met het opgezette 3D Grevelingen model is een groot aantal gevoeligheidsberekeningen gedaan. Hierbij lag de nadruk op het verkrijgen van zo goed mogelijke instellingen om stratificatie in het bijzonder en zout- en temperatuur verspreiding in het algemeen correct te representeren. Daarbij is ook ruime aandacht geweest voor het seizoensverloop van de temperatuur.

Er is bij het gevoeligheidsonderzoek gekeken naar de volgende parameters:

- Horizontale viscositeit en diffusiviteit: Het SIMONA 2D Grevelingen model rekent met een horizontale viscositeit van 1,0 $m^2/s$. Voor het 3D Grevelingen model is gekozen voor een horizontale viscositeit en diffusiviteit van beide 0,5 $m^2/s$.

- Verticale achtergrondviscositeit en diffusiviteit: In het 3D Grevelingen model wordt voor de verticale impuls en stofverspreiding met het k-epsilon model gewerkt. Daarnaast kan een achtergrondwaarde voor de verticale viscositeit en diffusiviteit gespecificeerd worden. De waarde voor beide is gevarieerd van 0,0 tot $5,0 \times 10^{-5}$ $m^2/s$. Uiteindelijk is voor zowel de viscositeit als de diffusiviteit een waarde van $0,5 \times 10^{-6}$ $m^2/s$ genomen.

- Secchi diepte: De Secchi diepte is een maat voor de troebelheid van het water. De gebruikte Secchi diepte is 2.0 m. Het verloop en de verspreiding van temperatuur bleek ongevoelig voor variaties in de Secchi diepte.

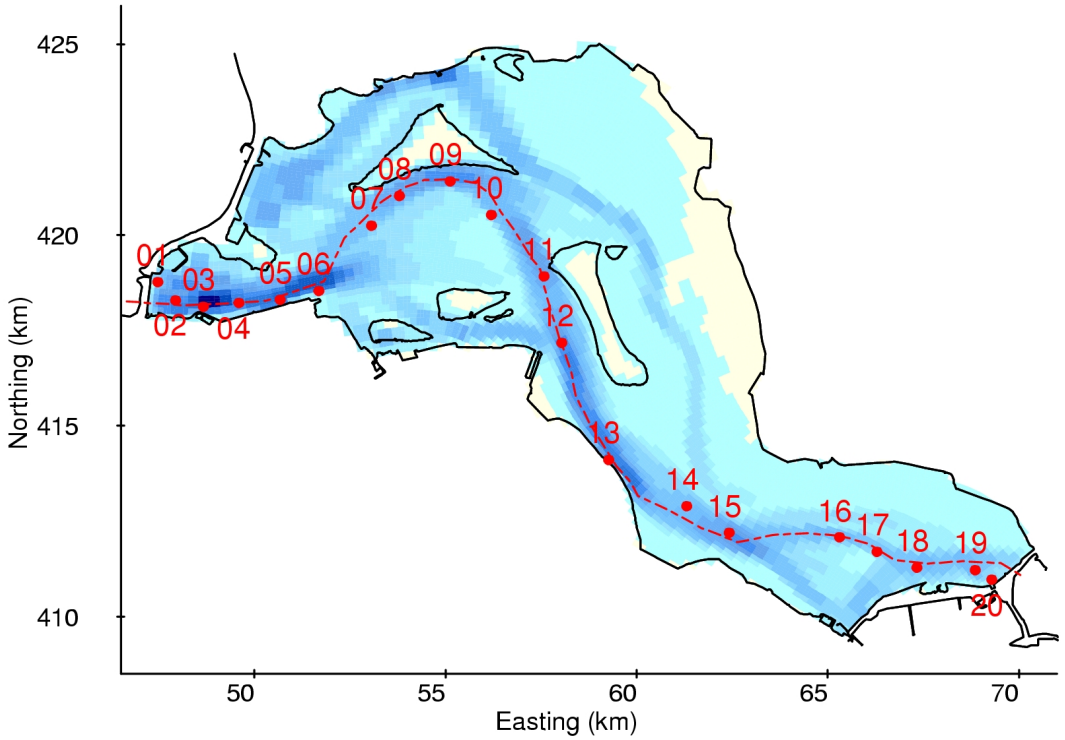
- Stanton en Dalton coëfficiënt: De Stanton en Dalton coëfficiënt zijn een maat voor respectievelijk de advectieve en evaporatieve warmteflux. Deze coëfficiënten zijn de belangrijkste afregelparameters van het temperatuursmodel. Initieel zijn de settings van het 3D Veerse Meer model gebruikt (Stanton: $1,885 \times 10^{-3}$; Dalton: $2,25 \times 10^{-3}$). Na gevoeligheidsberekeningen is de Stanton coëfficiënt op $3,045 \times 10^{-3}$ gezet. De uiteindelijk gebruikte waarde voor de Dalton coëfficiënt is eveneens $3,045 \times 10^{-3}$.

- Tijdstap: Een tijdstap van 2 minuten is gebruikt. Het verlagen van de tijdstap naar 1 minuut gaf geen significant ander resultaten.

- Aantal verticale lagen: Het gebruikte aantal verticale rekenlagen is 14. Gevoeligheidsberekeningen met 28 lagen (gehalveerde laagdikten) gaven enigszins verbeterde resultaten met betrekking tot zout- en temperatuurtransport. Echter, gezien de toenemende rekentijd is vastgehouden aan het gebruik van 14 lagen.

## 3.2 Verificatie

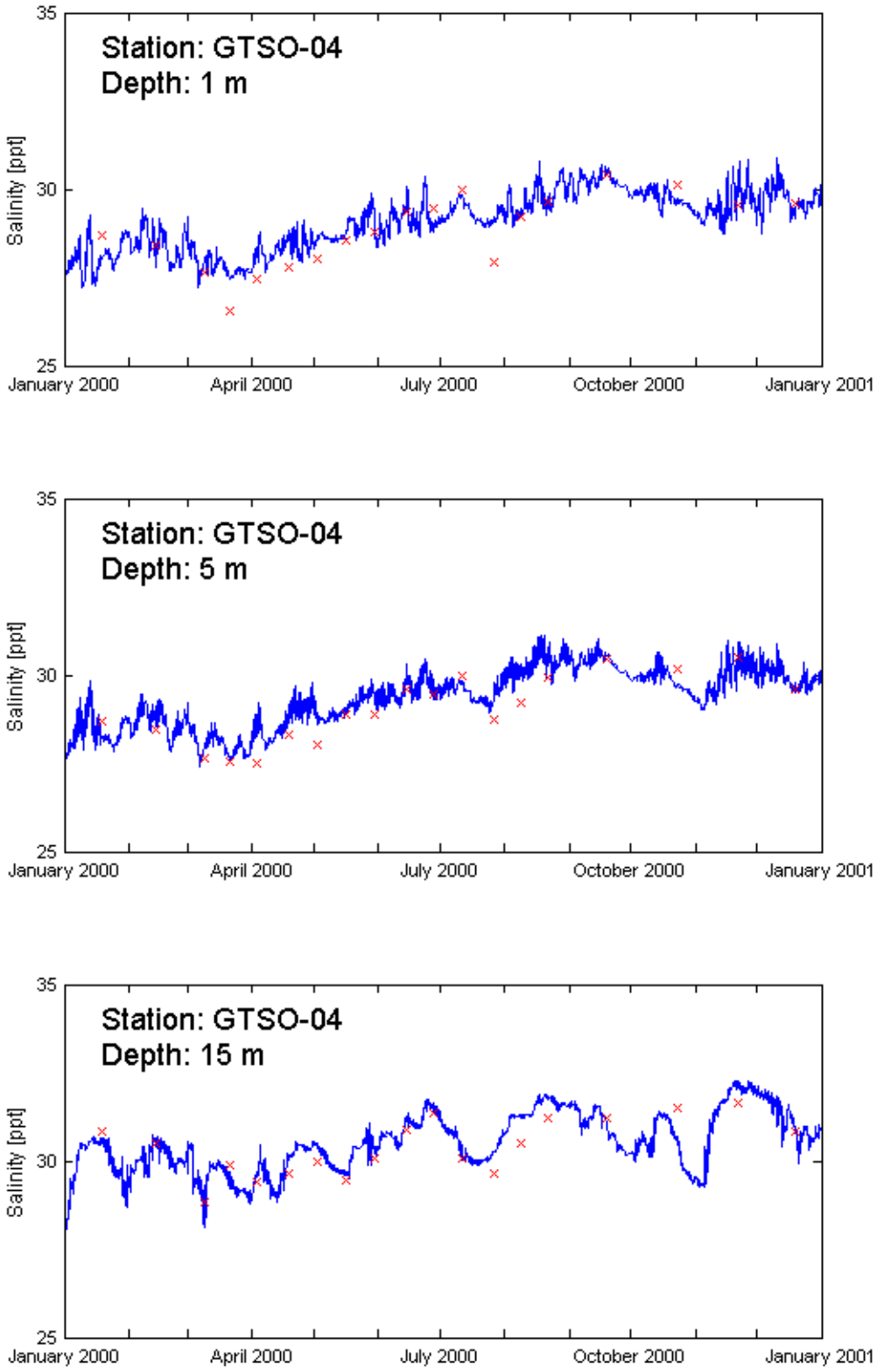
De verificatie van het 3D Grevelingen model is uitgevoerd voor het jaar 2000, waarbij 1999 als inspeeljaar fungeerde. Voor de verificatie is gebruik gemaakt van GTSO metingen met betrekking tot zoutgehalte en temperatuur. De locaties van de GTSO metingen zijn gepresenteerd in Figuur 3.1. Gekeken is naar de horizontale en verticale verspreiding en het tijdsverloop van zoutgehalte en temperatuur over het gehele jaar. Een selectie van de resultaten van de uiteindelijke berekening zal hieronder worden gepresenteerd.



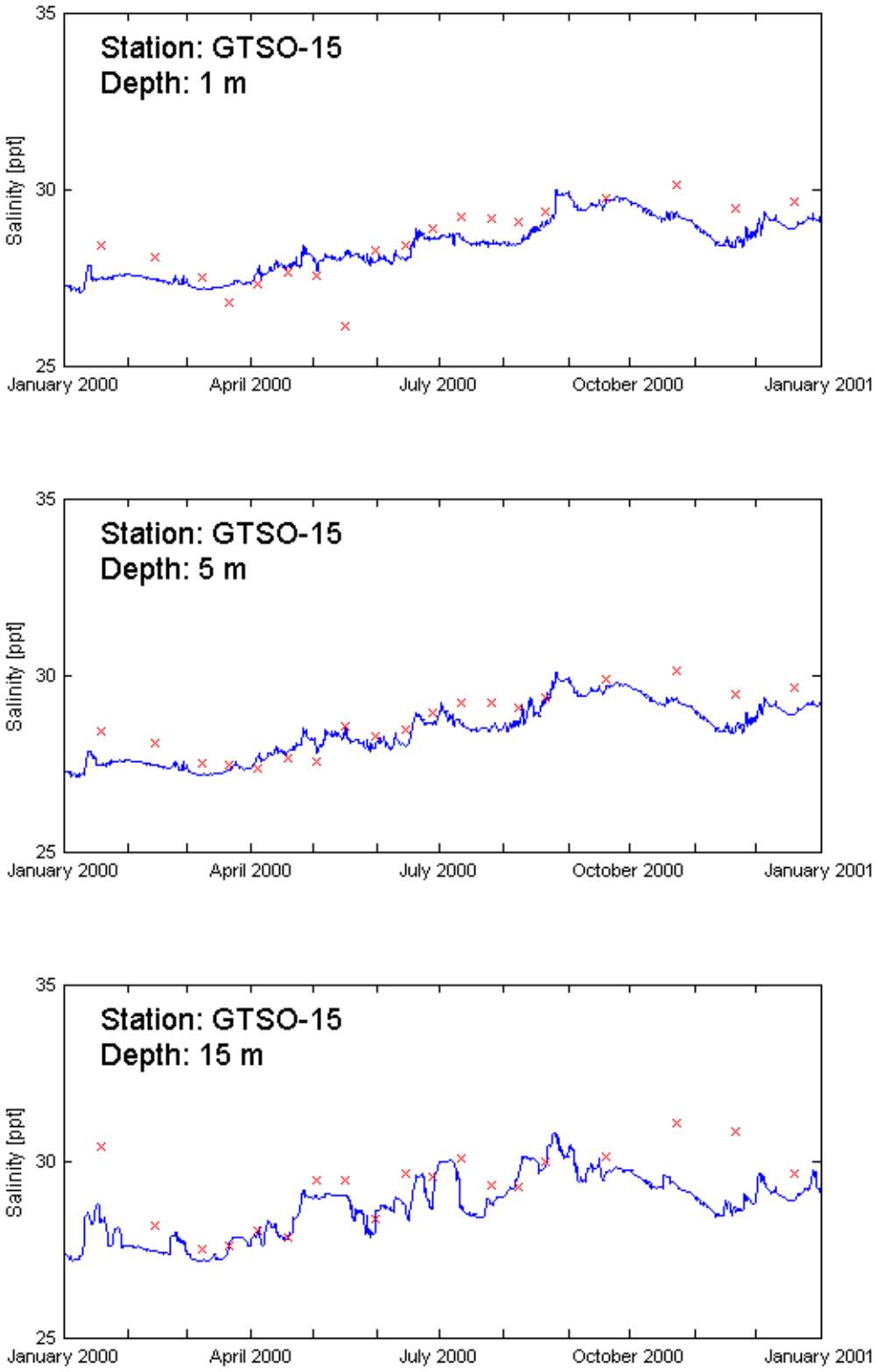

*Figuur 3.1: Overzicht van de GTSO meetlocaties (rode bollen). Langs de rode stippellijn worden dwarsdoorsneden geplot.*

### 3.2.1 Tijdreeksen

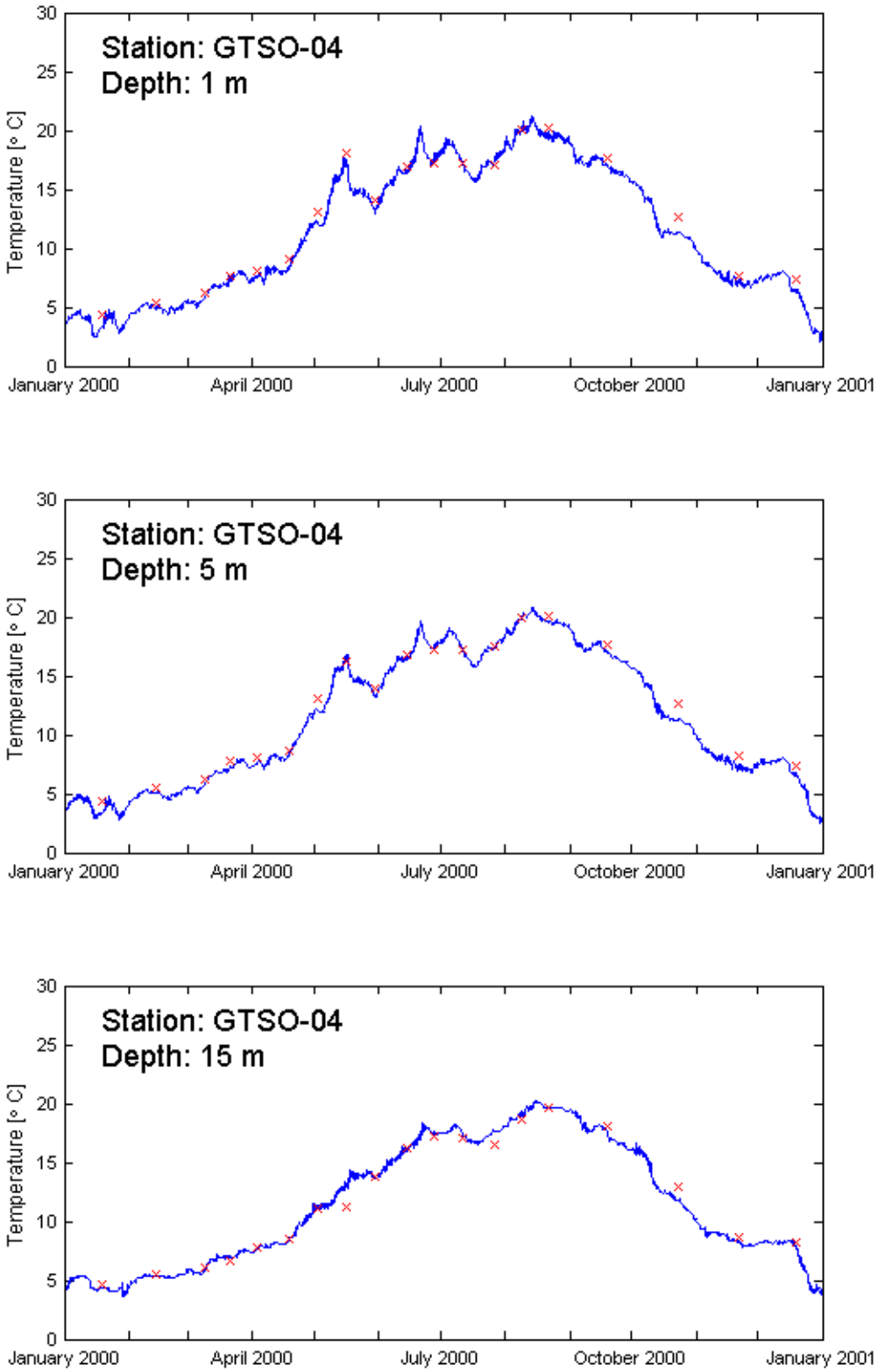
In Figuur 3.2 en 3.3 is voor twee stations het gesimuleerde zoutgehalteverloop geplot tegen de gemeten waarden. Dit is gedaan voor verschillende diepten: 1 m, 5 m en 15 m. De overeenkomst met de metingen is goed. In station GTSO-15 is te zien dat aan het einde van het jaar, op 15 m diepte, het zoutgehalte onderschat wordt. Een oorzaak hiervan zou kunnen zijn dat er aan het einde van het jaar enkele gaten in de Brouwerssluis debieten zitten. Het Brouwerssluis debiet is daar nihil verondersteld, waardoor de grootte van de zouttong onderschat wordt en niet het zuidoosten van het Grevelingenmeer bereikt.
In Figuur 3.4 en 3.5 is de gesimuleerde temperatuur geplot tegen de gemeten waarden. De overeenkomst met de metingen is zeer goed. Zowel het seizoensverloop als variaties over tijdschalen van weken worden goed gereproduceerd.



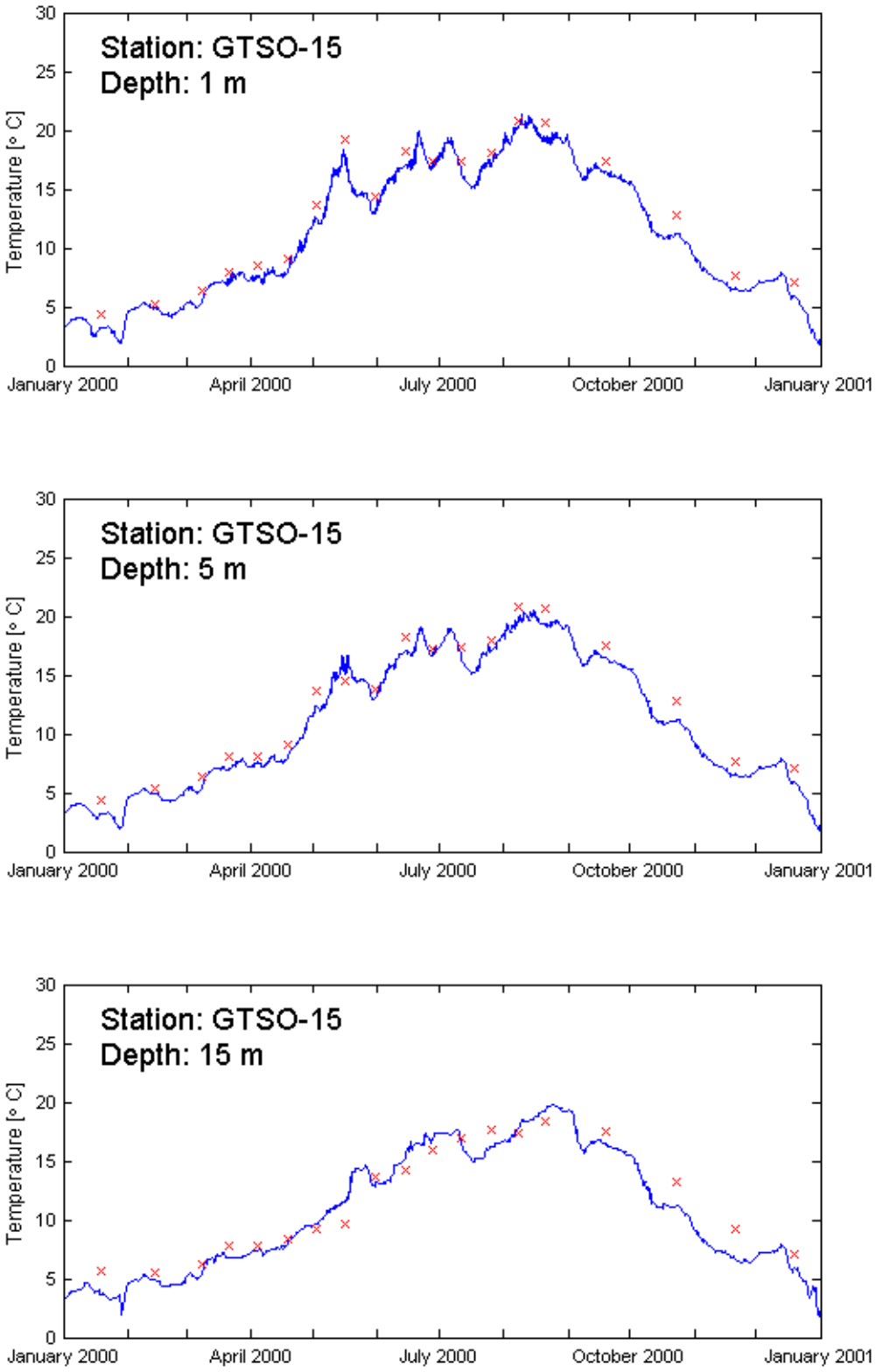

*Figuur 3.2: Tijdreeks van het zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-04 (blauwe lijn: simulatie; rode kruisjes: GTSO metingen).*




*Figuur 3.3: Tijdreeks van het zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-15 (blauwe lijn: simulatie; rode kruisjes: GTSO metingen).*



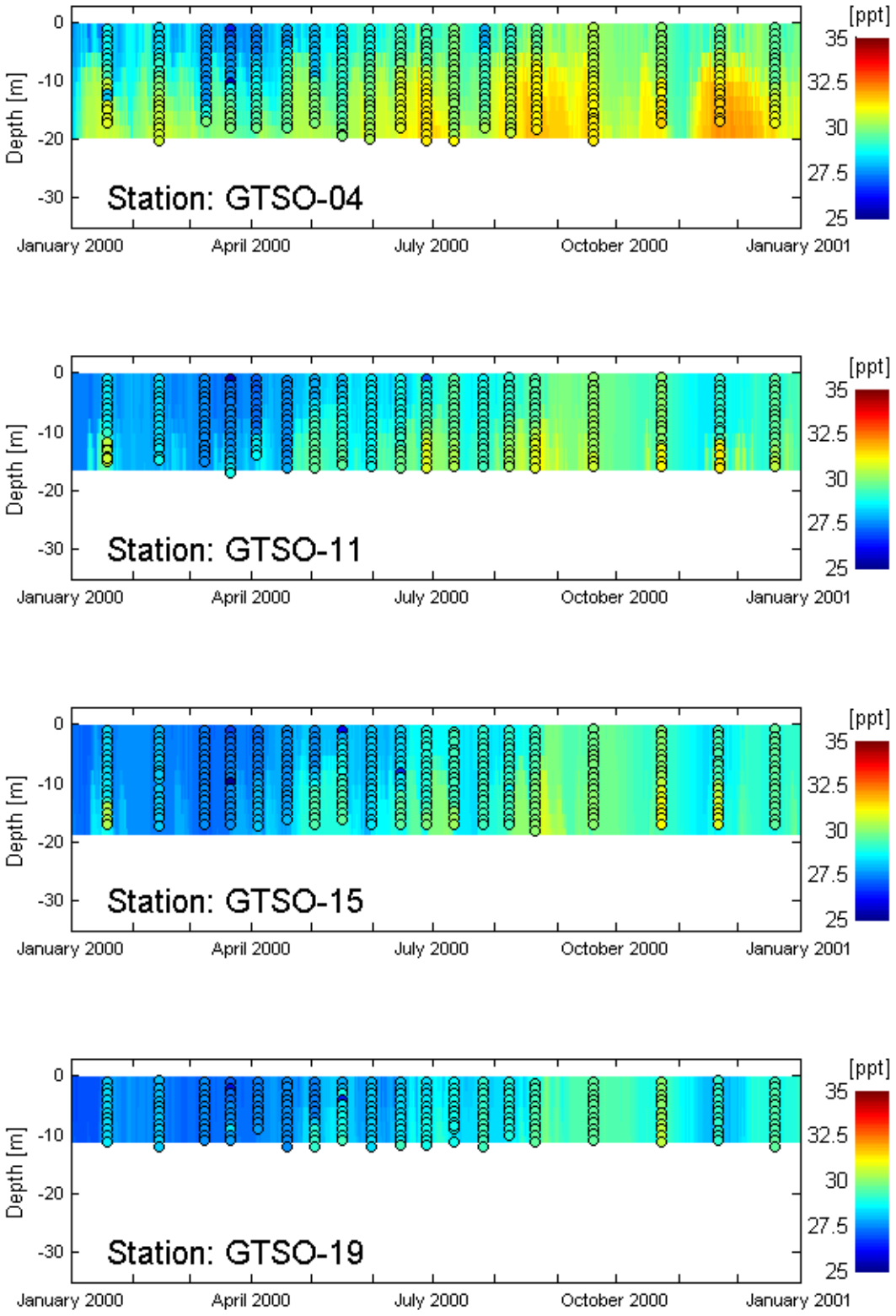

*Figuur 3.4: Tijdreeks van de temperatuur op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-04 (blauwe lijn: simulatie; rode kruisjes: GTSO metingen).*



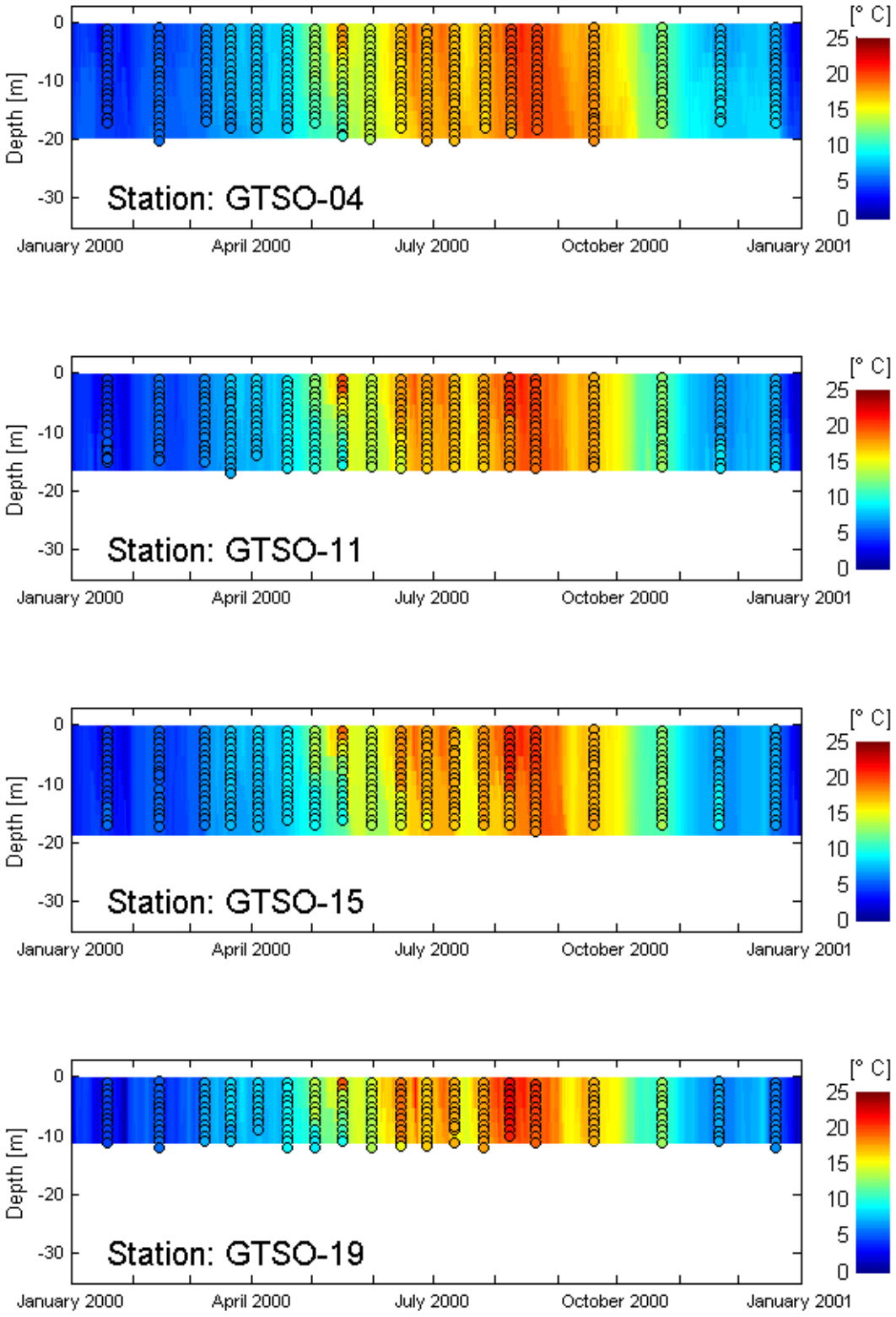

*Figuur 3.5: Tijdreeks van de temperatuur op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-15 (blauwe lijn: simulatie; rode kruisjes: GTSO metingen).*

### 3.2.2 Z-t diagrammen

In Figuur 3.6 is, voor een selectie van vier stations, het gesimuleerde zoutgehalte geplot als functie van de diepte en de tijd. In de open bolletjes zijn de gemeten waarden geplot. De gesimuleerde waarden komen goed overeen met de metingen, zowel wat betreft het tijdsverloop als wat betreft de reproductie van stratificatie.
In Figuur 3.7 is hetzelfde gedaan voor de temperatuur. Ook hier is de overeenkomst met de metingen zeer goed.



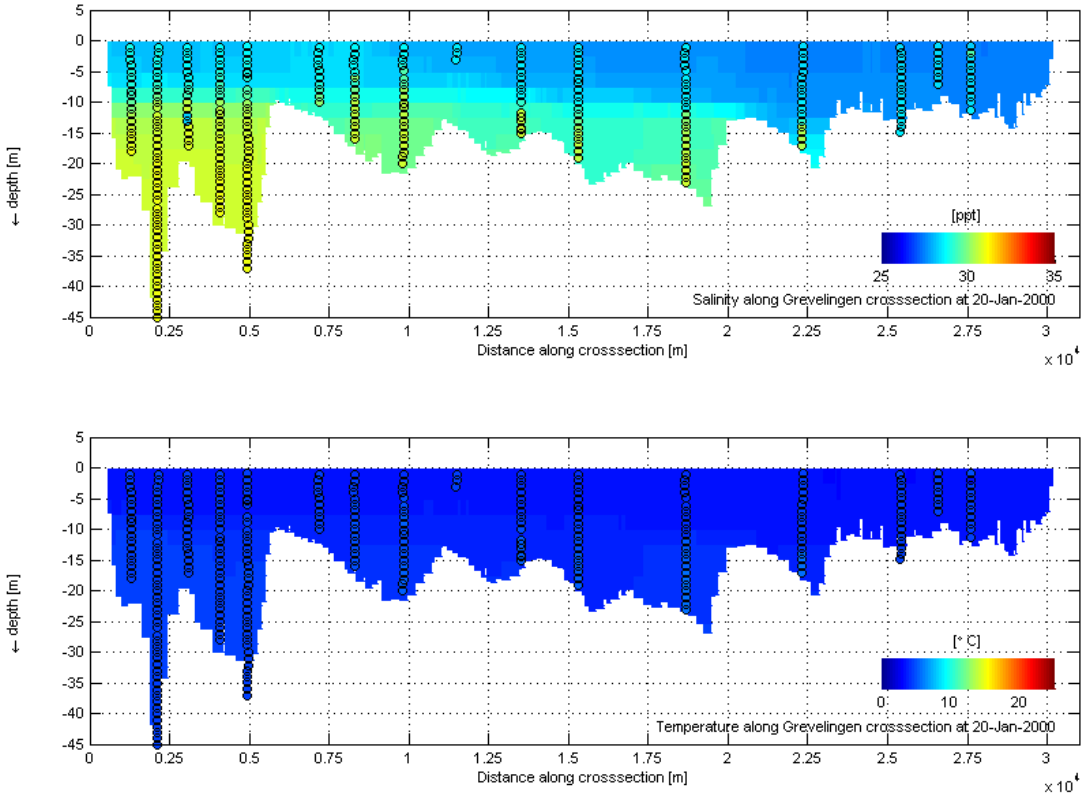

*Figuur 3.6: Z-t diagram van het gesimuleerde zoutgehalte op locatie GTSO-04, GTSO-11, GTSO-15 en GTSO-19. De bolletjes zijn de gemeten (GTSO) profielen.*



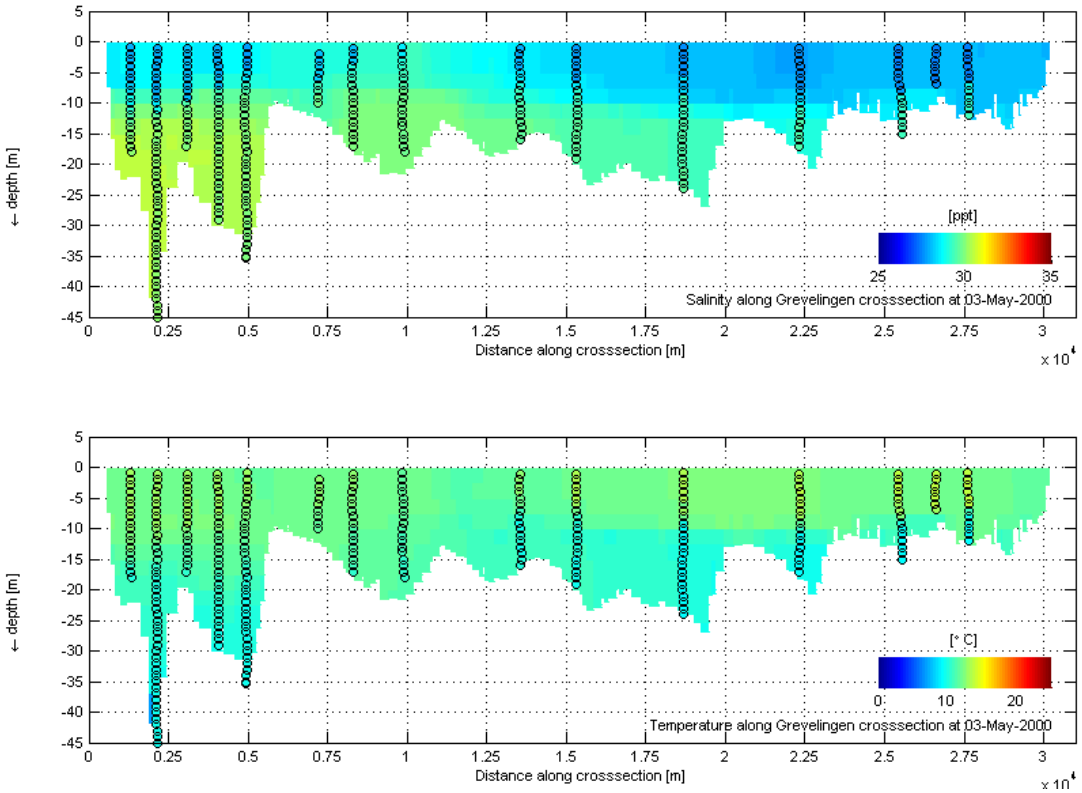

*Figuur 3.7: Z-t diagram van de gesimuleerde temperatuur op locatie GTSO-04, GTSO-11, GTSO-15 en GTSO-19. De bolletjes zijn de gemeten (GTSO) profielen.*

### 3.2.3 Dwarsdoorsneden

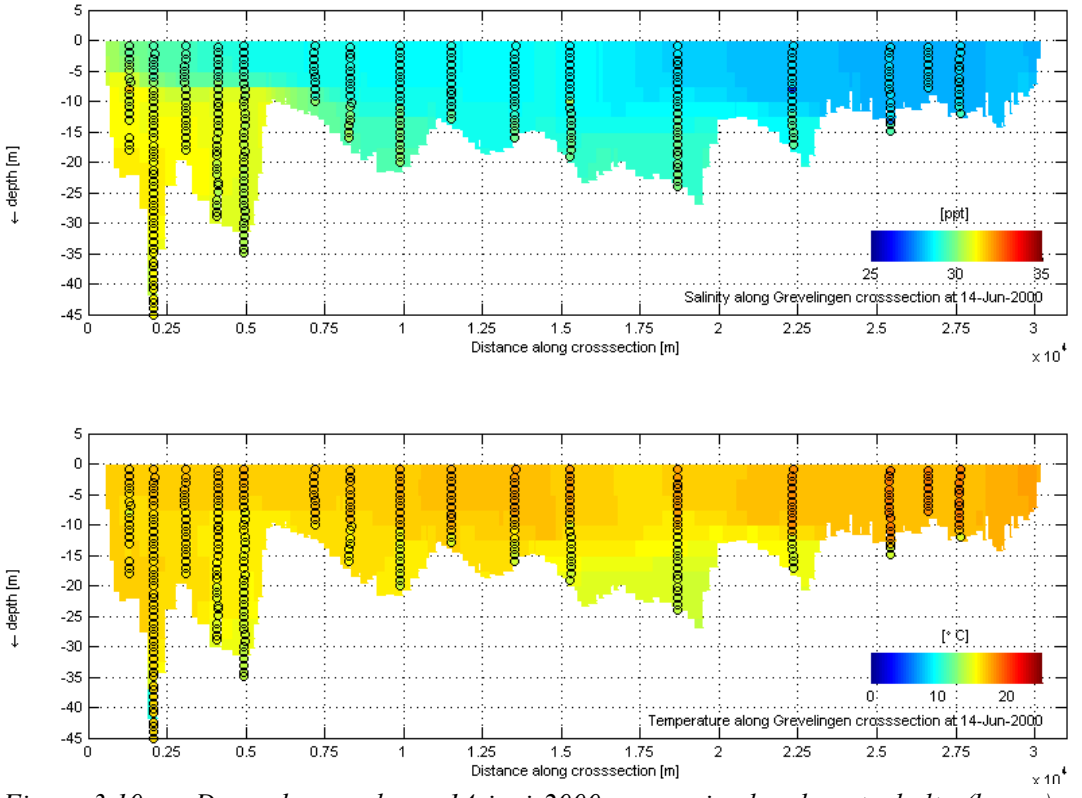
In Figuur 3.8 t/m 3.11 is, op verschillende tijdstippen, het zoutgehalte en de temperatuur in een dwarsdoorsnede door het model geplot. De locatie van de dwarsdoorsnede is weergegeven in Figuur 3.1. De gemeten waarden zijn in de open bolletjes geplot. Ook hier blijkt een goede overeenkomst met de metingen wat betreft stratificatie en de ruimtelijke variatie daarin.



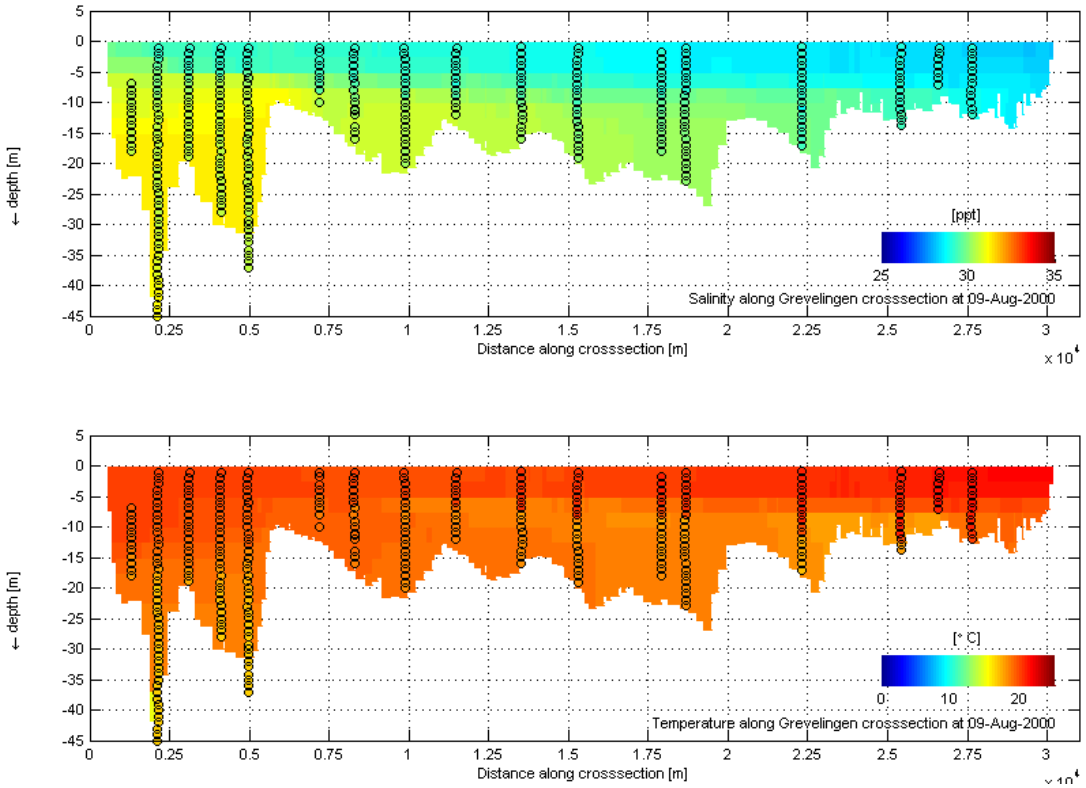

*Figuur 3.8: Dwarsdoorsnede op 20 januari 2000 van gesimuleerd zoutgehalte (boven) en temperatuur (onder). De bolletjes zijn de gemeten (GTSO) profielen.*




*Figuur 3.9: Dwarsdoorsnede op 3 mei 2000 van gesimuleerd zoutgehalte (boven) en temperatuur (onder). De bolletjes zijn de gemeten (GTSO) profielen.*




*Figuur 3.10: Dwarsdoorsnede op 14 juni 2000 van gesimuleerd zoutgehalte (boven) en temperatuur (onder). De bolletjes zijn de gemeten (GTSO) profielen.*




*Figuur 3.11: Dwarsdoorsnede op 9 augustus 2000 van gesimuleerd zoutgehalte (boven) en temperatuur (onder). De bolletjes zijn de gemeten (GTSO) profielen.*

# 4 Scenario's (berekeningen met Delft3D Grevelingen model)

## 4.1 Definitie van de beheersscenario's

Met het geverifieerde hydrodynamisch model zijn vervolgens tien scenario's doorgerekend. De scenario's verschillen van elkaar wat betreft het Brouwerssluisdebiet, het debiet door de Flakkeese Spuisluis en het zoutgehalte in de Oosterschelde. Het laatste is alleen relevant als er een ingaand debiet door de Flakkeese Spuisluis gespecificeerd is. Tabel 4.1 geeft een overzicht van de beschouwde beheersscenario's.

Tabel 4.1 Overzicht van beheersscenario's beschouwd in dit rapport – de debieten door de Brouwerssluis en Flakkeese spuisluis zijn daggemiddeld

| ID | Omschrijving | Brouwerssluis ($m^3/s$) | | Flakkeese spuisluis ($m^3/s$) | | Streefpeil (cm NAP) | Getijslag (cm) * | Zoutgehalte Oosterschelde (ppt) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | in | uit | in | uit | | | |
| 0 | Huidig beperkt | 125 | 125 | 0 | 0 | -20 | 5 | n.v.t. |
| 1A | Huidig maximaal | 135 | 135 | 0 | 0 | 0 | 6 | n.v.t. |
| 1B | Huidig sterk beperkt | 75 | 75 | 0 | 0 | -20 | 3 | n.v.t. |
| 2A | Uitwisseling beperkt | 125 | 125 | 65 | 65 | -20 | 8 | 29,8 |
| 2B | | | | | | | | 23,8 |
| 3A | Doorspoelen van oost naar west | 60 | 125 | 65 | 0 | -20 | 5 | 29,8 |
| 3B | | | | | | | | 23,8 |
| 3C | | | | | | | | op basis van meetreeks |
| 4 | Doorspoelen van west naar oost | 125 | 60 | 0 | 65 | -20 | 5 | n.v.t. |
| 5 | Brouwerssluis sterk vergroot | 500 | 500 | 65 | 65 | 0 | 23 | op basis van meetreeks; -20 % |

* Dit is het deel van de waterstandvariatie, dat veroorzaakt wordt door het cyclische debiet door de Brouwerssluis en/of de Flakkeese spuisluis. Bijdrage van de wind aan de waterstandvariaties is hierin niet meegenomen. Modelresultaten geven aan dat deze bijdrage een orde van grootte van centimeters heeft. Onder stormcondities kan dit oplopen tot circa 10 cm.

Bij het opzetten van de scenario's is het Brouwerssluis debiet geschematiseerd als cyclisch debiet (in- en uitgaand) met een dubbeldaags karakter (28,98 °/uur). Tijdelijke sluitingen van de Brouwerssluis zijn daarin niet meegenomen. De in Tabel 4.1 gespecificeerde Brouwerssluis debieten zijn vervolgens gecorrigeerd om de massabalans sluitend te maken.

Bij de scenario's met een ingaand debiet door de Flakkeese Spuisluis moet de temperatuur van het instromende water gespecificeerd worden. Hiervoor is, indien niet anders aangegeven, de temperatuur van de verificatieberekening in station GTSO-20 (het meest oostelijk gelegen station) genomen.

Alle overige debieten en instellingen zijn gelijk aan die van de verificatieberekening.

## 4.2 Resultaten

*Presentatiemethode*
Voor de presentatie van de hydrodynamische resultaten van de scenarioberekeningen worden, wat betreft de hydrodynamica, twee methoden gebruikt. De eerste methode behelst tijdreeksen van het zoutgehalte op verschillende diepten (1 m, 5 m en 15 m indien de diepte op de betreffende locatie het toelaat), de tweede methode behelst tijdreeksen van maximale dichtheidsverschillen over de verticaal. De resultaten worden getoond voor drie representatieve locaties (west: GTSO-03, midden: GTSO-13 en oost: GTSO-18). Op locatie GTSO-18 is de diepte ca. 12 m. De tijdreeksen van het zoutgehalte worden hier slechts op 1 m en 5 m geplot.

De resultaten van de scenario's zullen worden vergeleken met de resultaten van Scenario 0. Alleen Scenario 0 zal worden vergeleken met de in paragraaf 3.2 gepresenteerde verificatieberekening. Dit wordt gedaan om een beeld te krijgen van de effecten van de schematisatie van het Brouwerssluisdebiet.

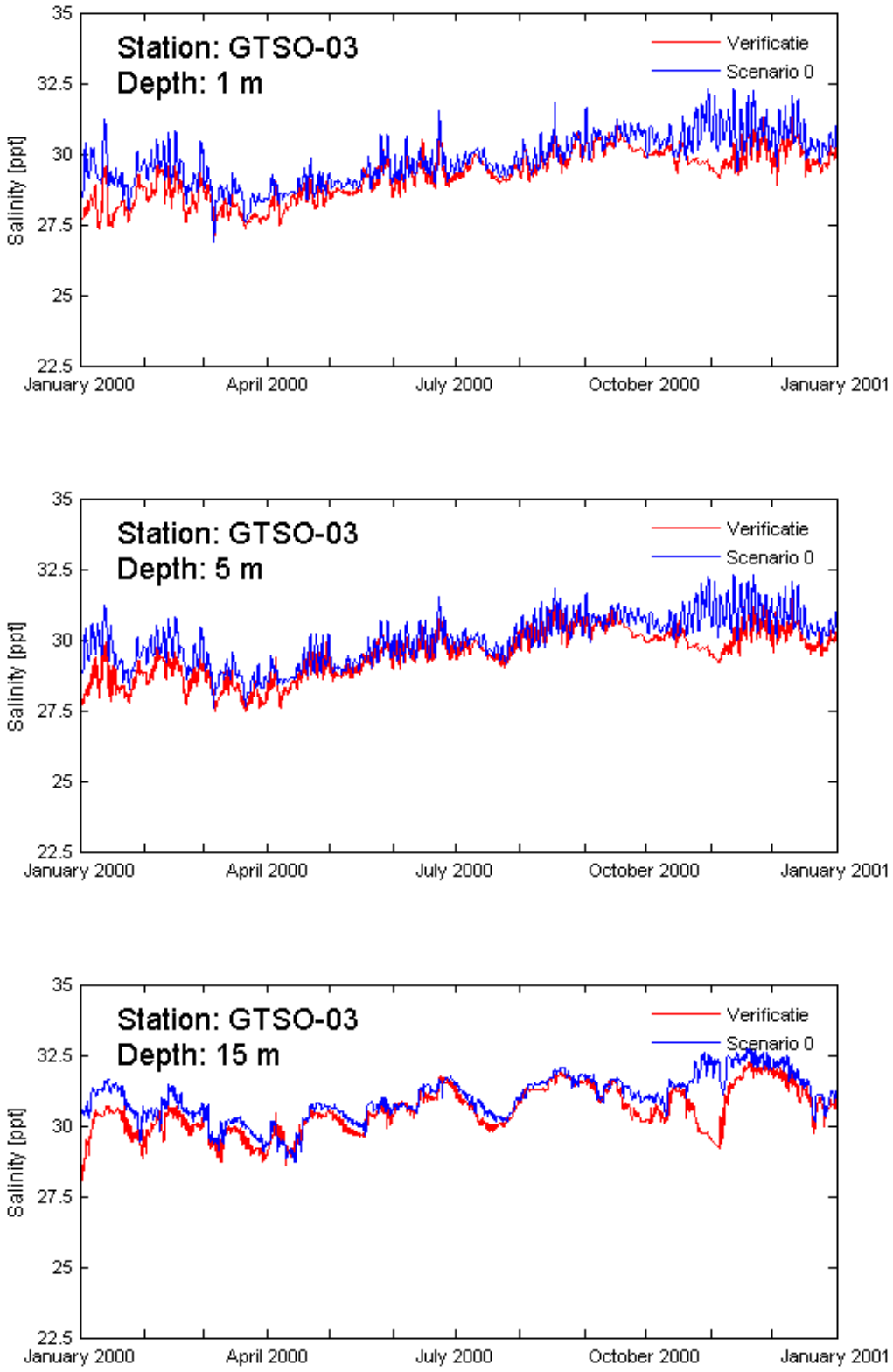
Plots van de temperatuur worden hier niet getoond, aangezien blijkt dat deze in de scenario's niet of nauwelijks verandert ten opzichte van Scenario 0. Dit is te verklaren door het feit dat de temperatuur vooral wordt bepaald door de instraling (die in de scenario's niet veranderd) en het gegeven dat de temperatuur van het instromende water niet anders is dan die van het water in het Grevelingenmeer.

### 4.2.1 Scenario 0

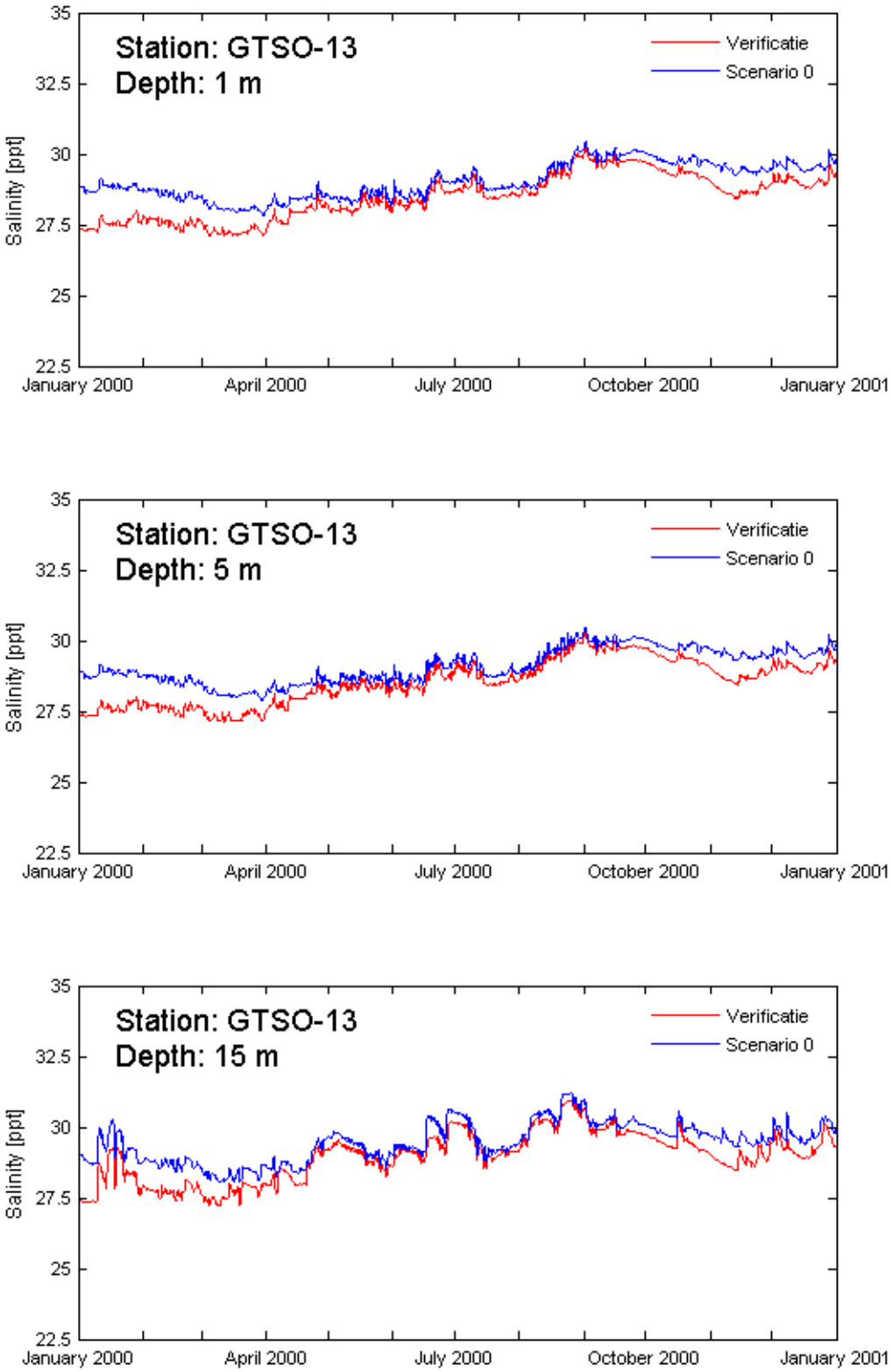
*Tijdreeksen*
In Figuur 4.1 tot en met 4.3 zijn tijdreeksen van het zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte getoond. De resultaten van Scenario 0 geven een iets hoger zoutgehalte dan de verificatieberekening, voornamelijk in de winter. Dit wordt veroorzaakt door de schematisatie van het Brouwerssluis debiet, waarbij tijdelijke sluitingen achterwege zijn gelaten. Aangezien er op een vergelijkende manier naar de resultaten van de volgende scenario's gekeken wordt, zal dit kleine verschil geen invloed hebben op de conclusies van deze studie.

*Stratificatie*

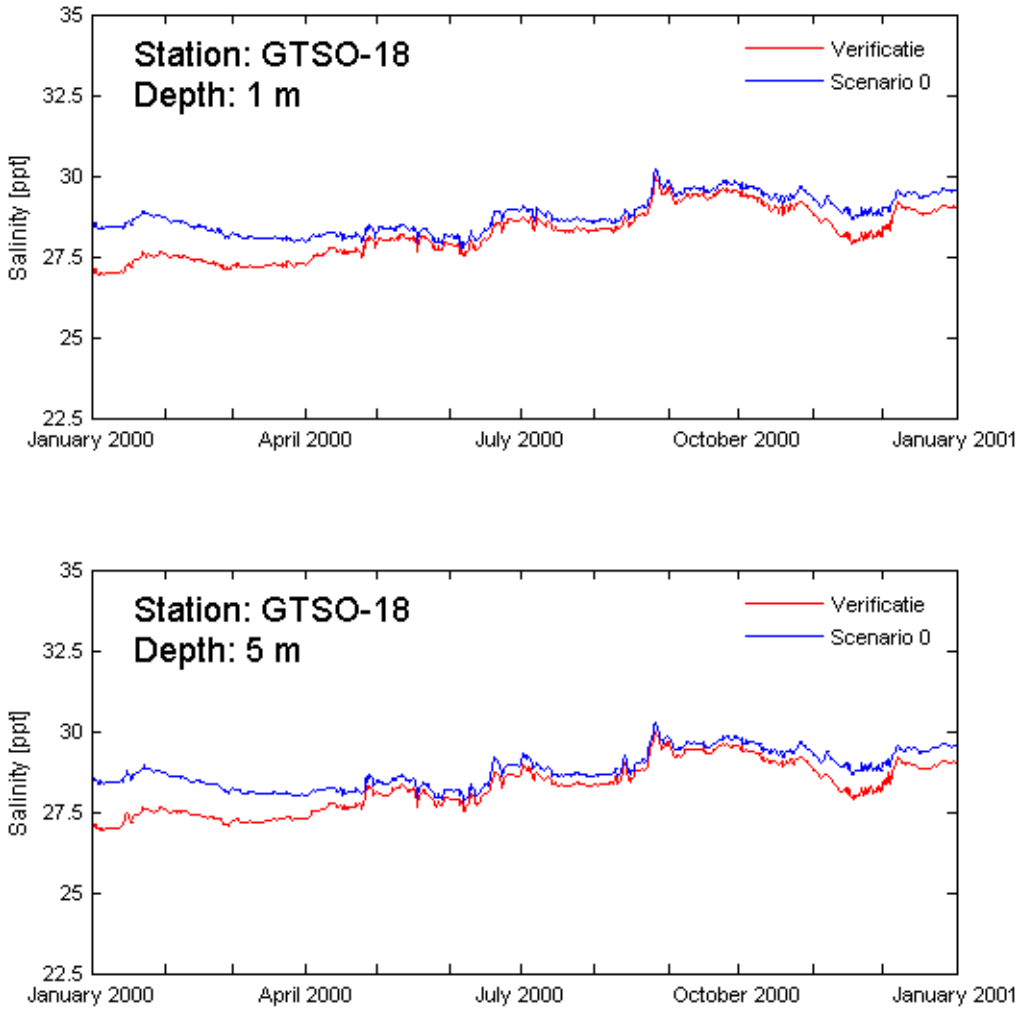
In Figuur 4.4 tot en met 4.6 zijn tijdreeksen van respectievelijk de maximale verschillen in zoutgehalte, temperatuur en dichtheid over de verticaal getoond, als maat voor de optredende stratificatie. De stratificatie is over het algemeen ongewijzigd gebleven ten opzichte van de verificatie berekening. Alleen in station GTSO-03 is de temperatuurstratificatie enigszins toegenomen. In de dichtheidstratificatie is deze stijging nauwelijks te zien. Dit geeft aan dat de zoutstratificatie overheerst.



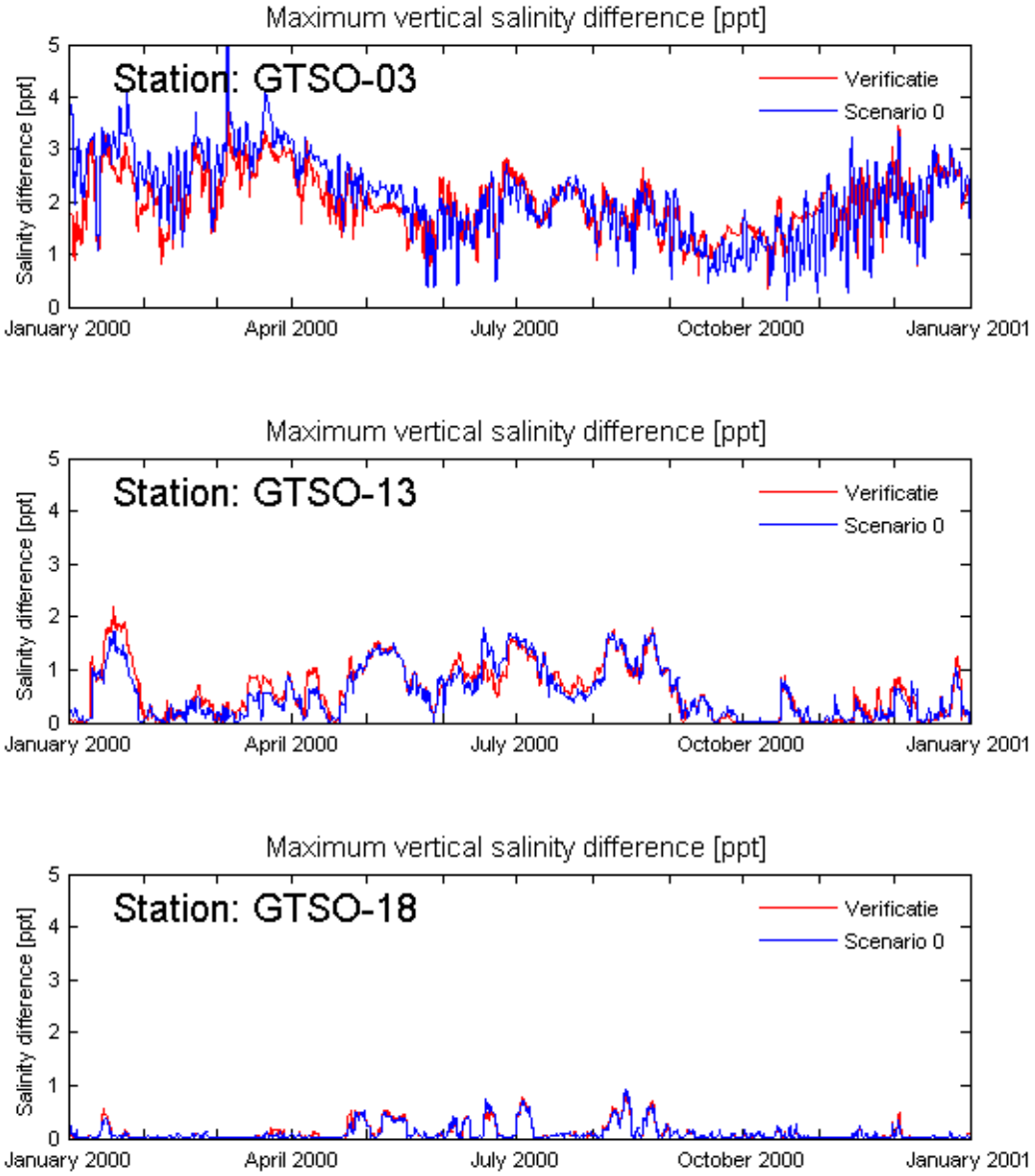

Figuur 4.1 Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-03 (blauwe lijn: Scenario 0; rode lijn: verificatie berekening).



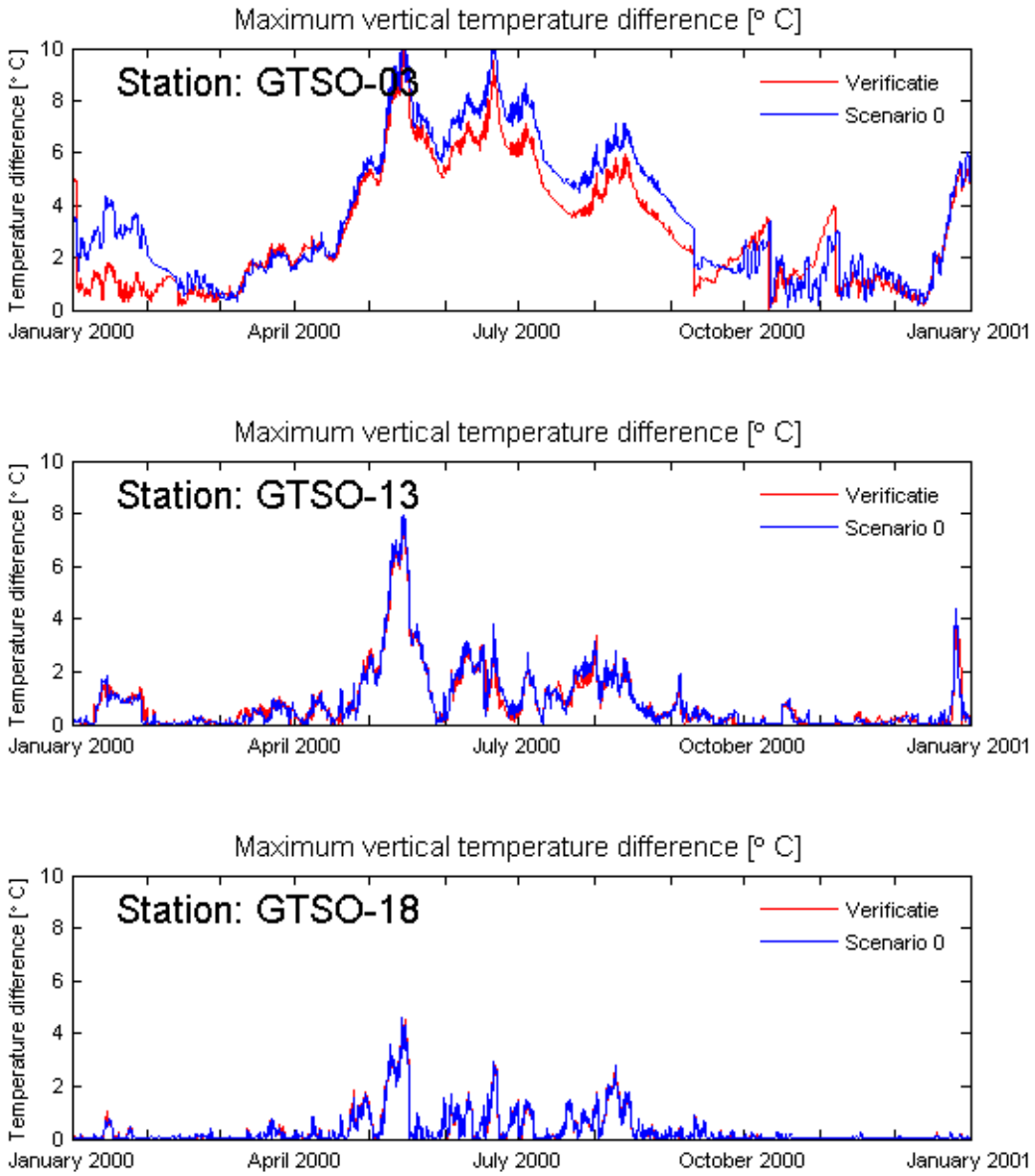

*Figuur 4.2: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-13 (blauwe lijn: Scenario 0; rode lijn: verificatie berekening).*



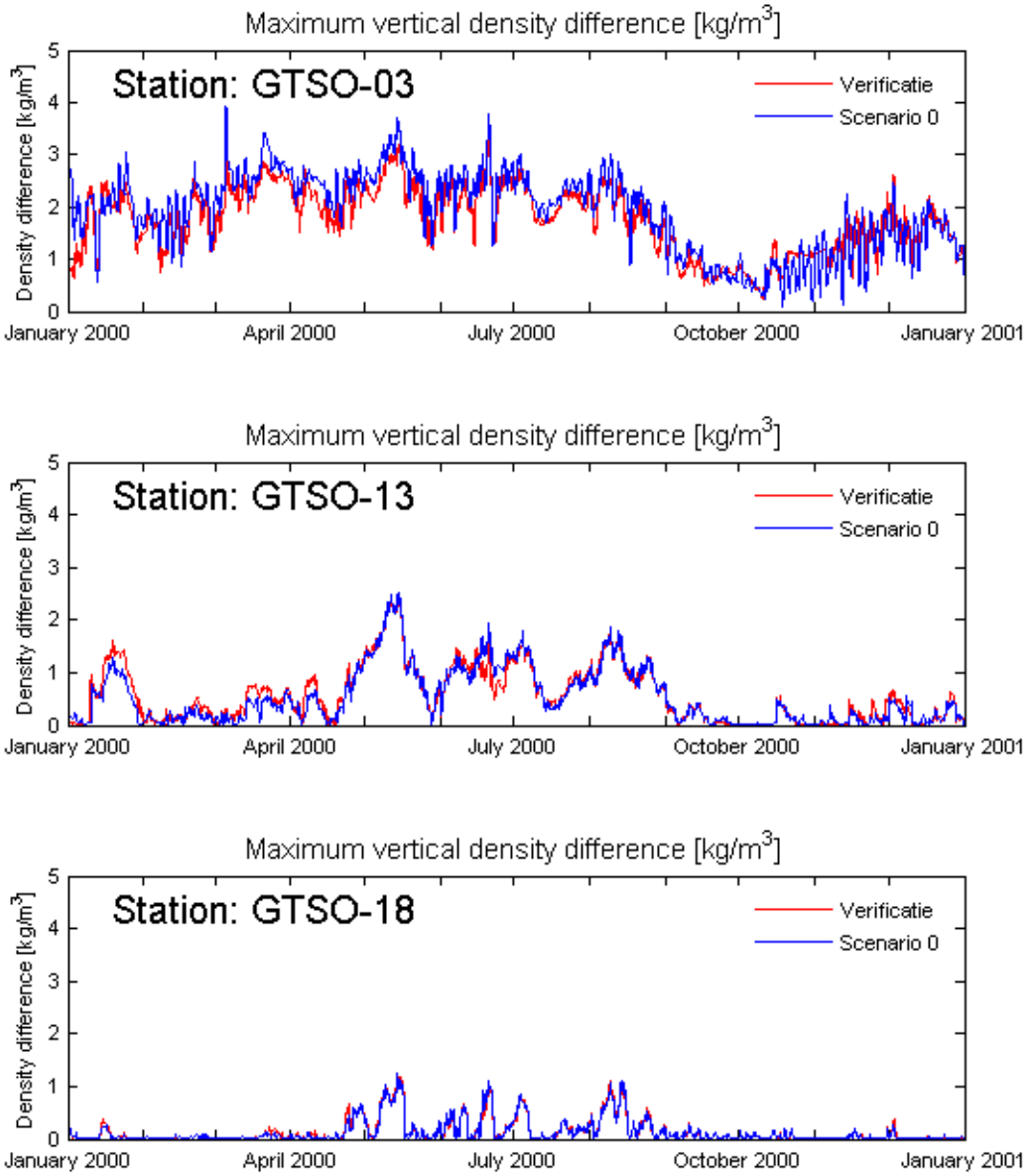

*Figuur 4.3: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m en 5 m diepte op locatie GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 0; rode lijn: verificatie berekening).*




*Figuur 4.4: Tijdreeks van het maximale verschil in zoutgehalte over de vertikaal op locatie GTSO-03, GTSO-13 en GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 0; rode lijn: verificatie berekening).*




*Figuur 4.5: Tijdreeks van het maximale verschil in temperatuur over de vertikaal op locatie GTSO-03, GTSO-13 en GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 0; rode lijn: verificatie berekening).*




*Figuur 4.6: Tijdreeks van het maximale verschil in dichtheid over de vertikaal op locatie GTSO-03, GTSO-13 en GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 0; rode lijn: verificatie berekening).*

### 4.2.2 Scenario 1A

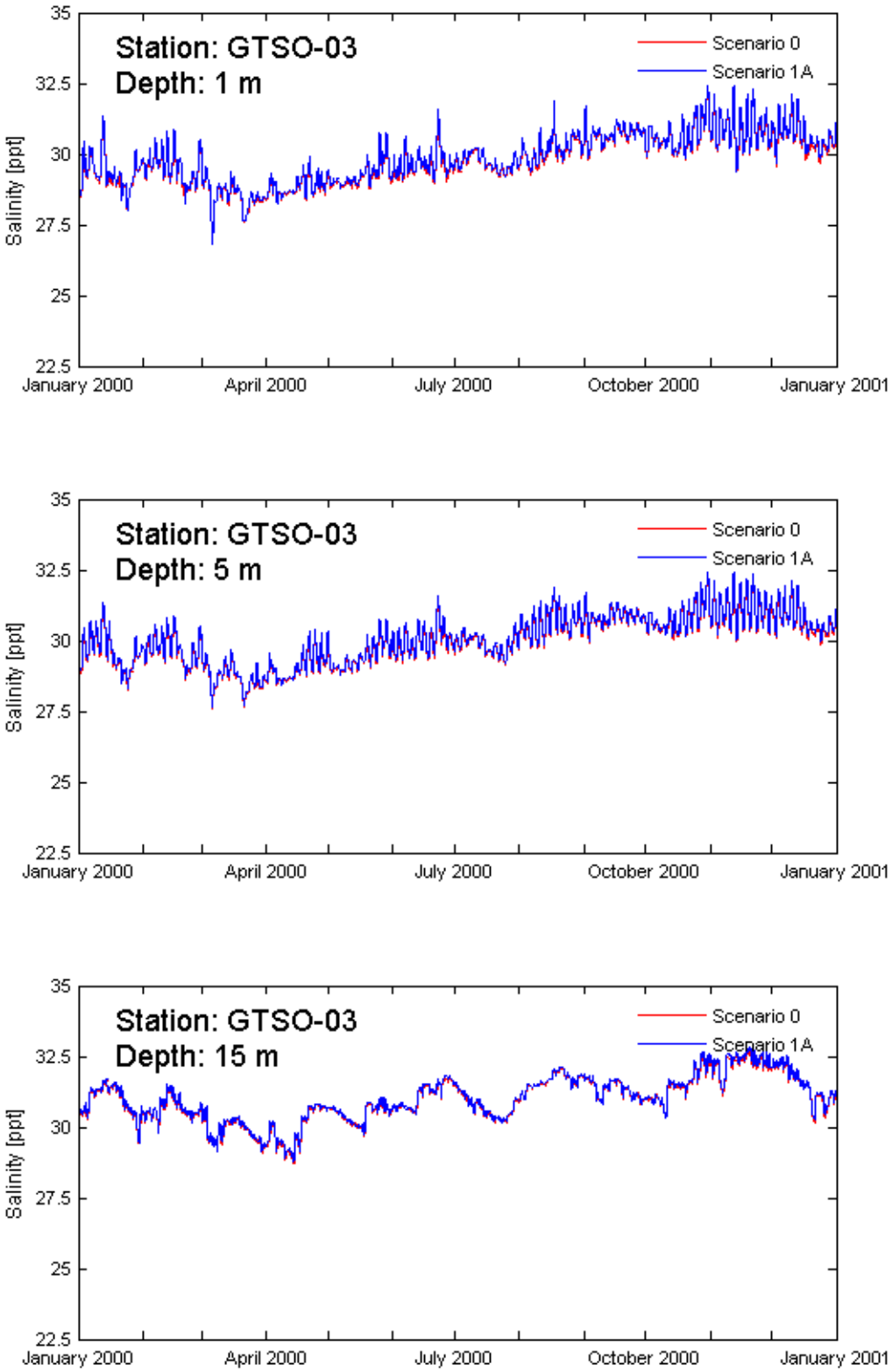
Scenario 1A (huidig maximaal) representeert de situatie waarbij het daggemiddelde Brouwerssluis debiet van 125 $m^3/s$ naar 135 $m^3/s$ toeneemt.

*Tijdreeksen*

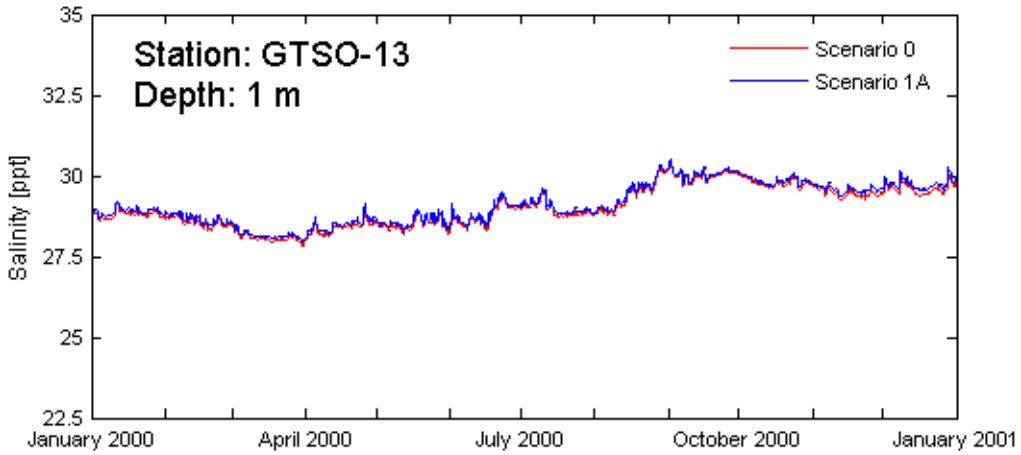
In Figuur 4.7 t/m 4.9 zijn tijdreeksen van het zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte getoond. Hieruit blijkt dat de veranderingen in zoutgehalte ten opzichte van Scenario 0 zijn te verwaarlozen.

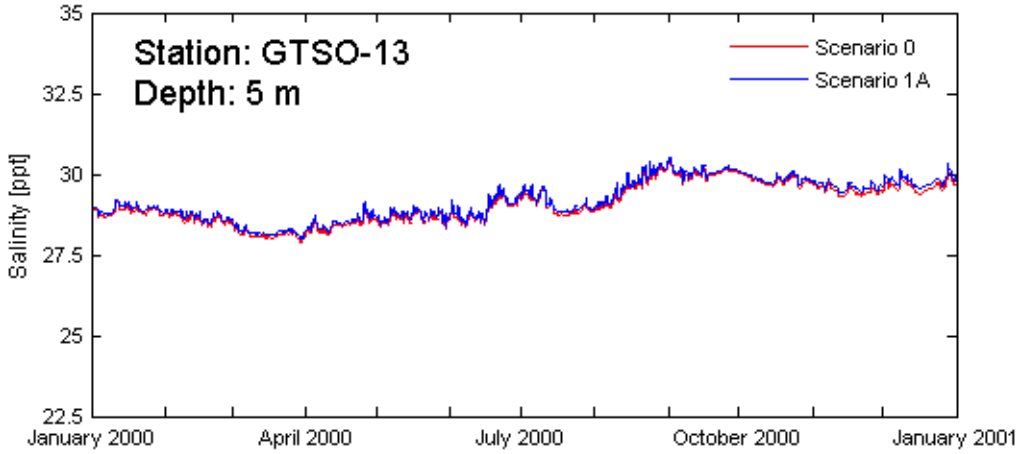
*Stratificatie*

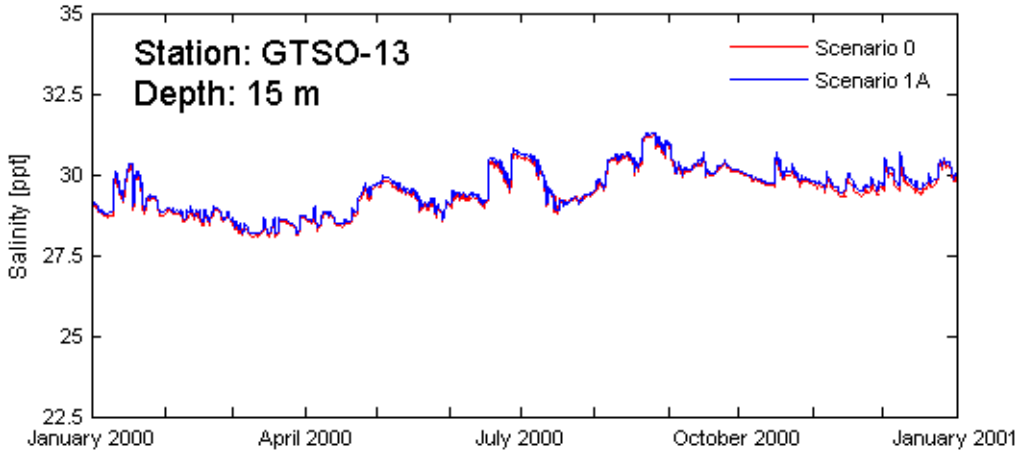
In Figuur 4.10 zijn tijdreeksen van de maximale verschillen in dichtheid over de verticaal getoond, als maat voor de optredende stratificatie. Ook hier zijn de verschillen met Scenario 0 te verwaarlozen.



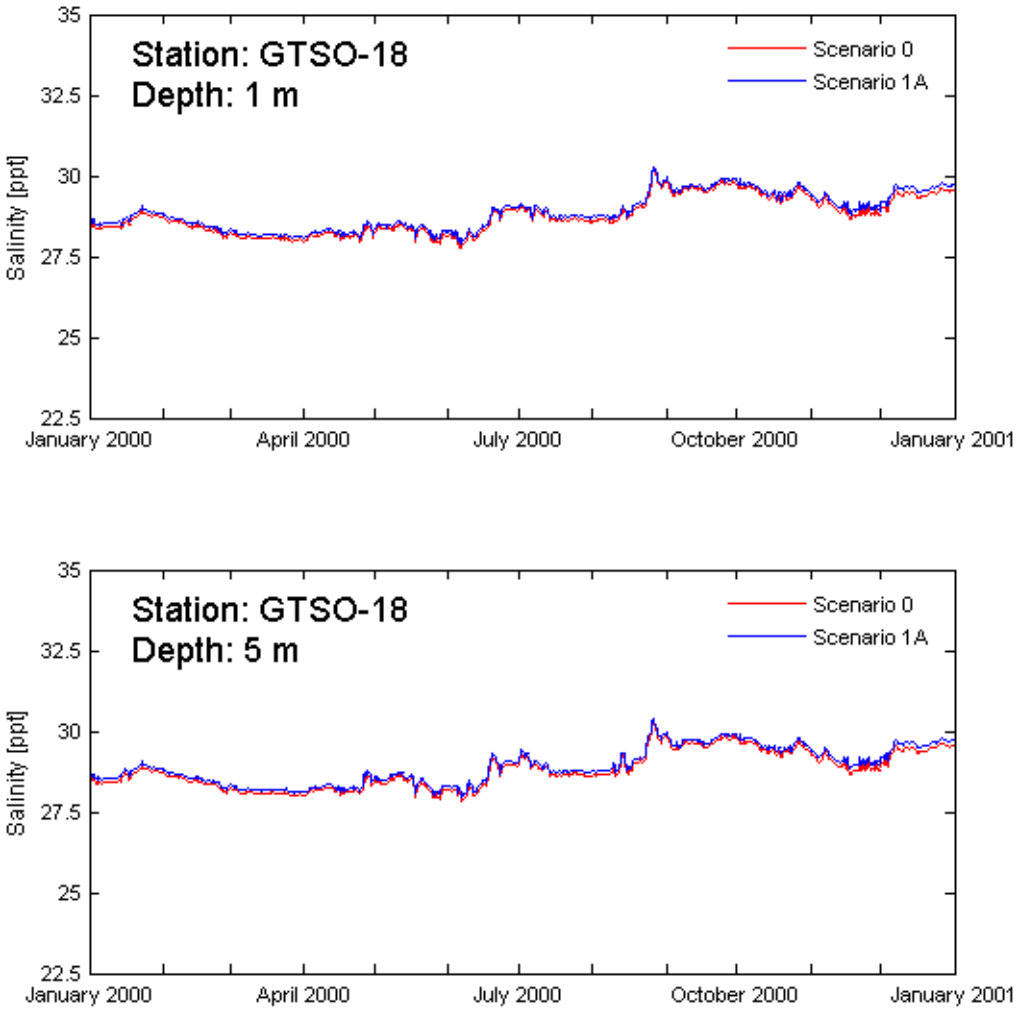

*Figuur 4.7: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-03 (blauwe lijn: Scenario 1A; rode lijn: Scenario 0).*



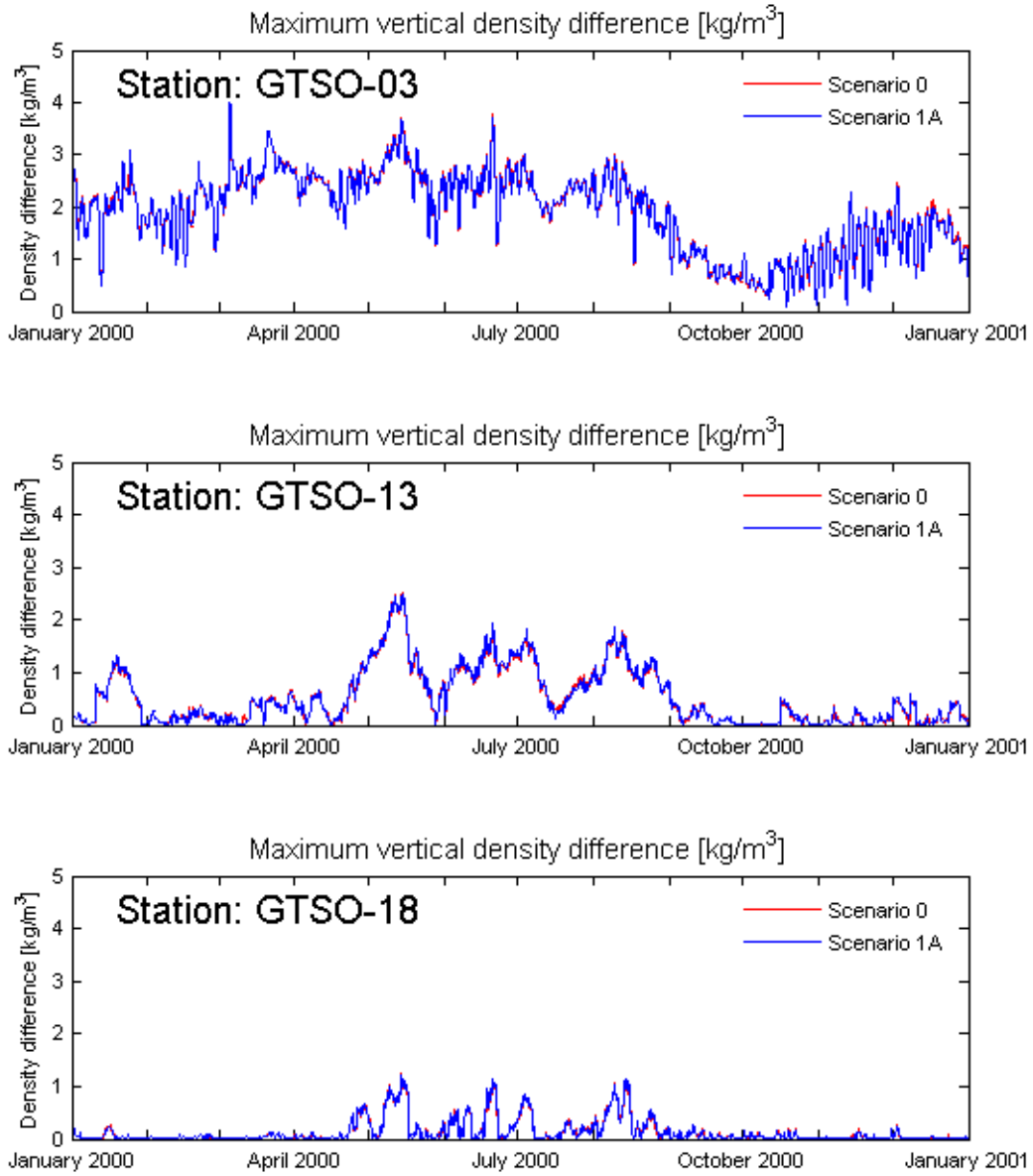




*Figuur 4.8: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m en 5 m diepte op locatie GTSO-13 (blauwe lijn: Scenario 1A; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.9: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 1A; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.10: Tijdreeks van het maximale verschil in dichtheid over de vertikaal op locatie GTSO-03, GTSO-13 en GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 1A; rode lijn: Scenario 0).*

### 4.2.3 Scenario 1B

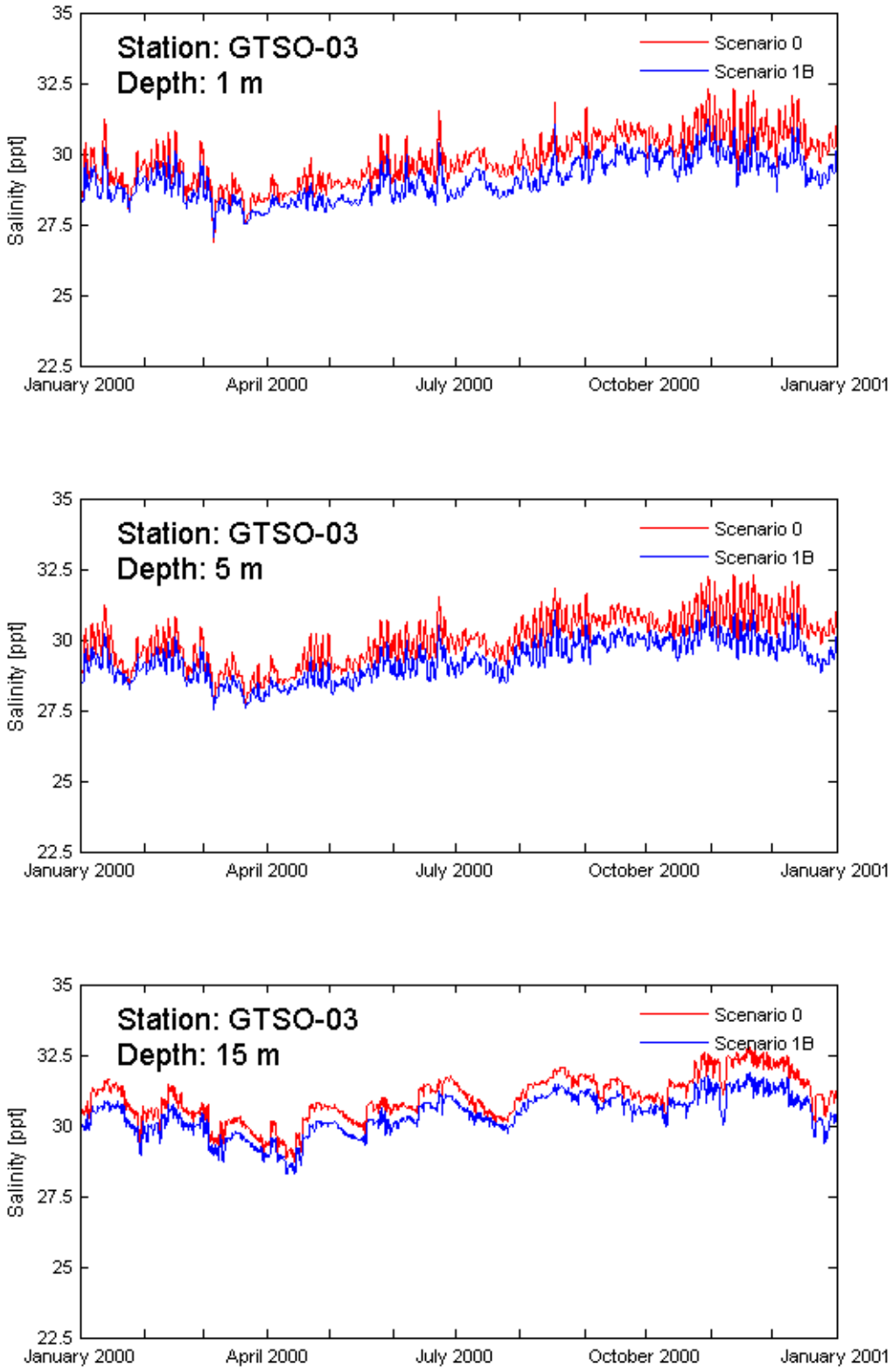
Scenario 1B (huidig sterk beperkt) representeert de situatie waarbij het daggemiddelde Brouwerssluis debiet van 125 $m^3/s$ naar 75 $m^3/s$ afneemt.

*Tijdreeksen*

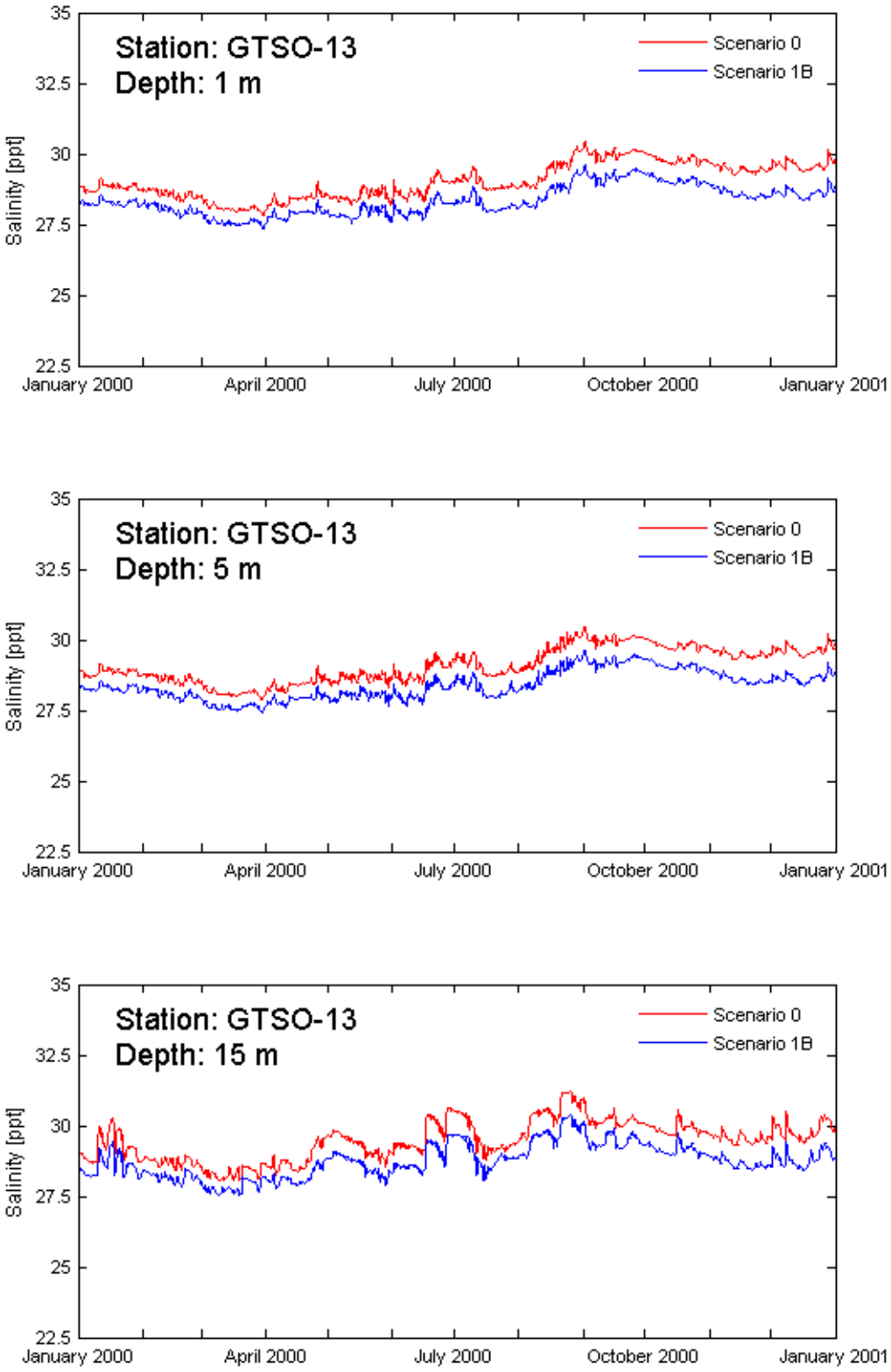
In Figuur 4.11 t/m 4.13 zijn tijdreeksen van het zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte getoond. Hieruit blijkt dat het zoutgehalte in het gehele Grevelingenmeer met ongeveer 1 ppt afneemt ten opzichte van Scenario 0. De variatie in zoutgehalte over het jaar blijft gelijk.

*Stratificatie*

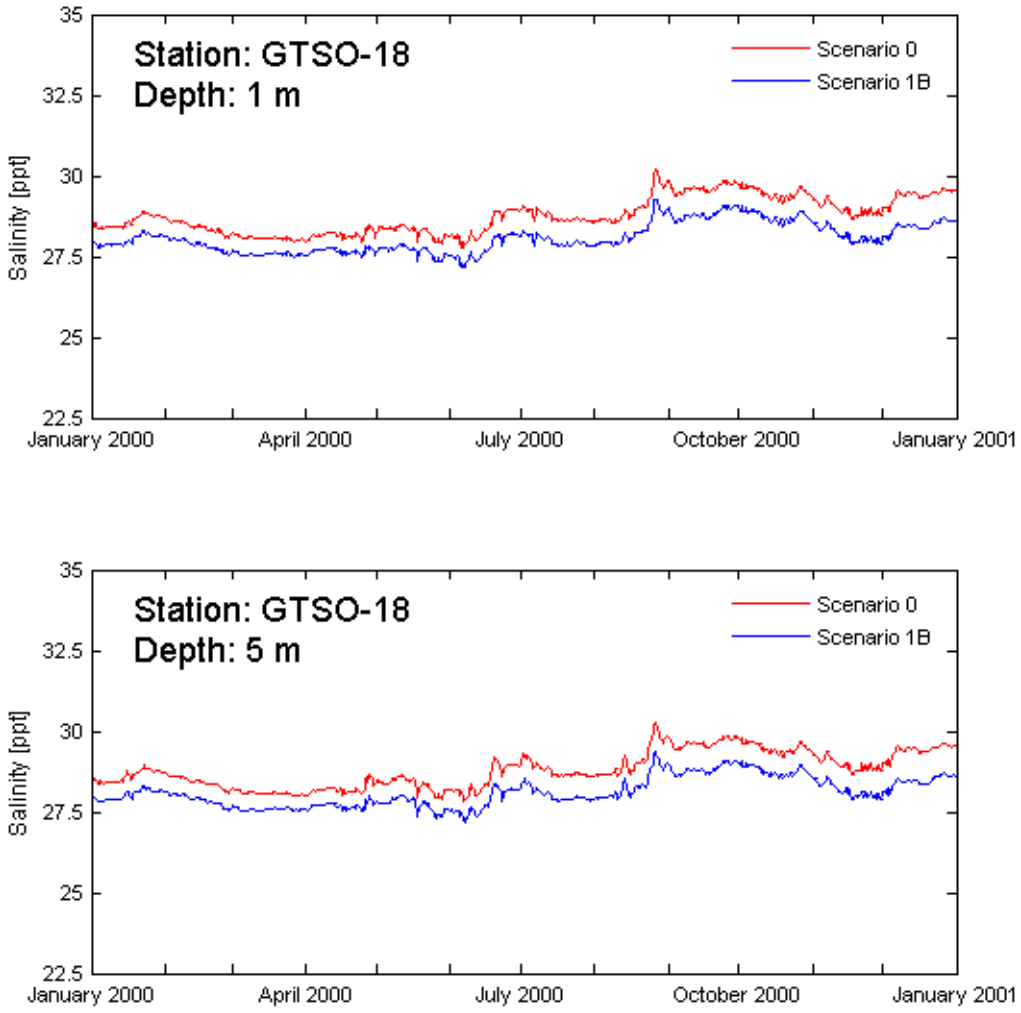
In Figuur 4.14 zijn tijdreeksen van de maximale verschillen in dichtheid over de verticaal getoond, als maat voor de optredende stratificatie. Hieruit blijkt dat de verschillen met Scenario 0 te verwaarlozen zijn.



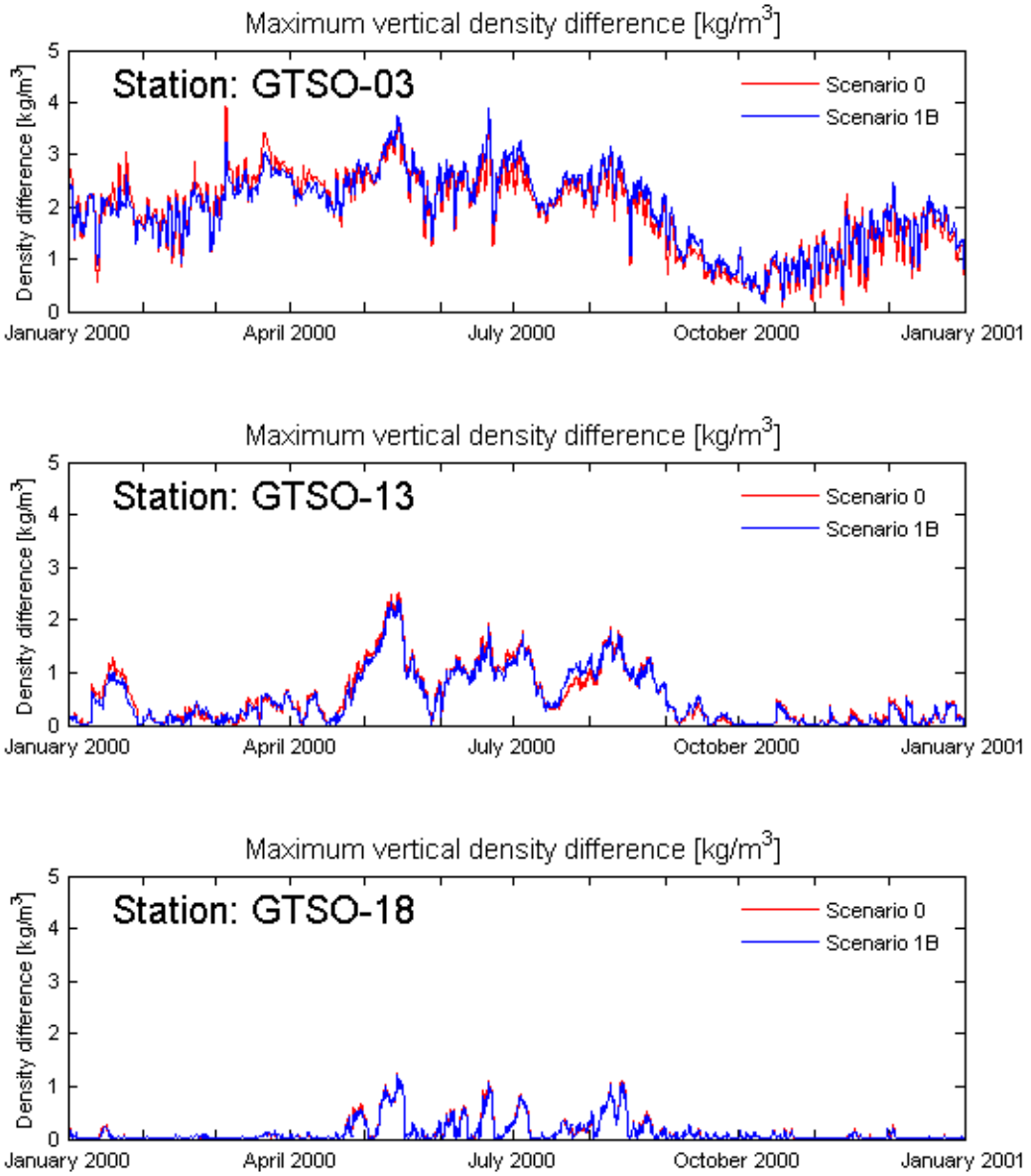

*Figuur 4.11: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-03 (blauwe lijn: Scenario 1B; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.12: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-13 (blauwe lijn: Scenario 1B; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.13: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 1B; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.14: Tijdreeks van het maximale verschil in dichtheid over de vertikaal op locatie GTSO-03, GTSO-13 en GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 1B; rode lijn: Scenario 0).*

### 4.2.4 Scenario 2A

Scenario 2A (uitwisselling beperkt, A) representeert de situatie waarbij de Flakkeese Spuisluis in werking is met een daggemiddeld debiet van 65 $m^3/s$. Het zoutgehalte in de Oosterschelde, en dus ook van het instromende water, is 29.8 ppt.

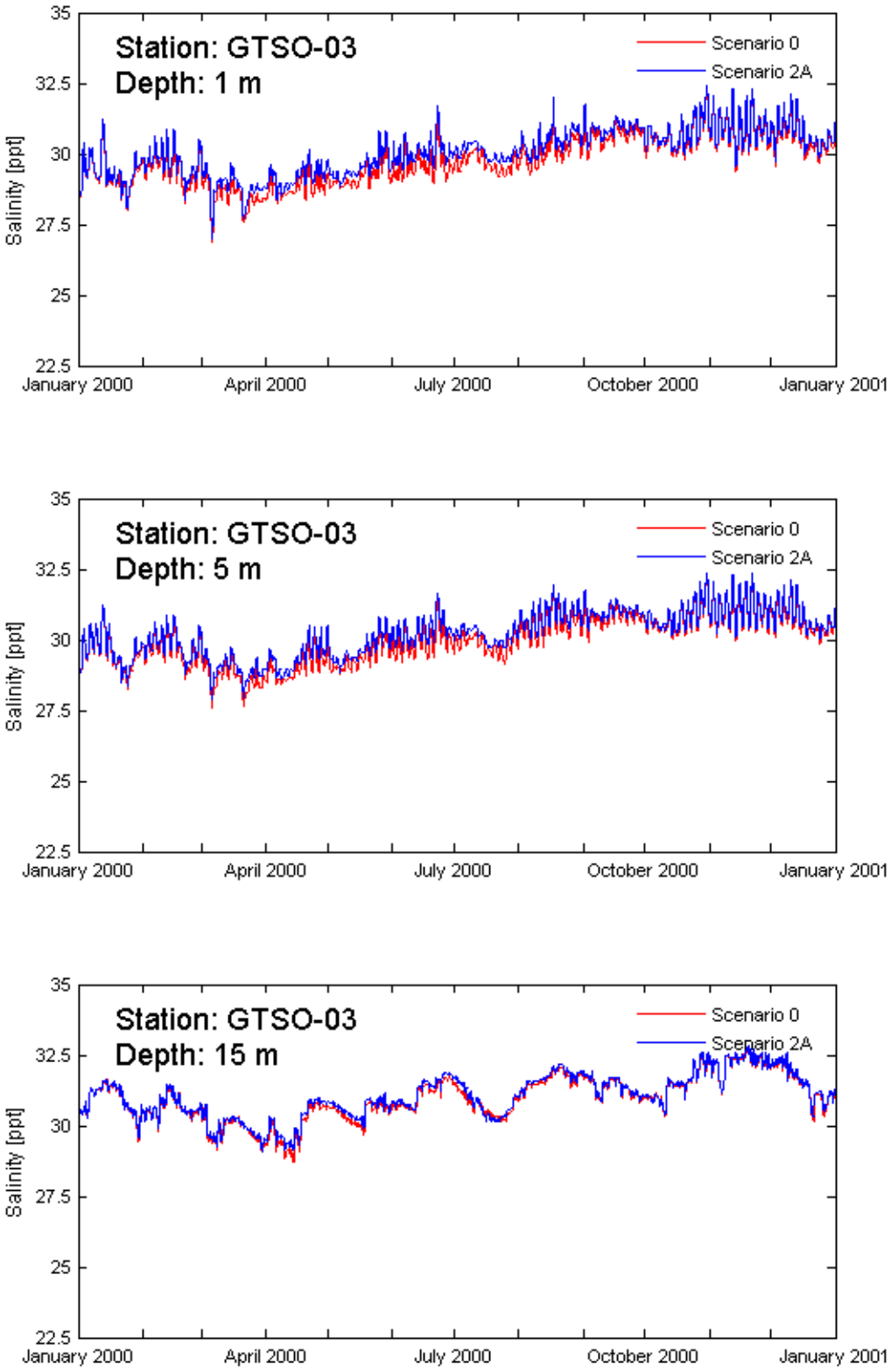
*Tijdreeksen*

In Figuur 4.15 t/m 4.17 zijn tijdreeksen van het zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte getoond. Uit de gegevens van de getoonde en andere locaties blijkt dat in het uiterste oosten van het Grevelingenmeer het zoutgehalte toeneemt met maximaal 2 ppt tot ongeveer 30 ppt (het zoutgehalte van het instromende Oosteschelde water). Richting het westen wordt het

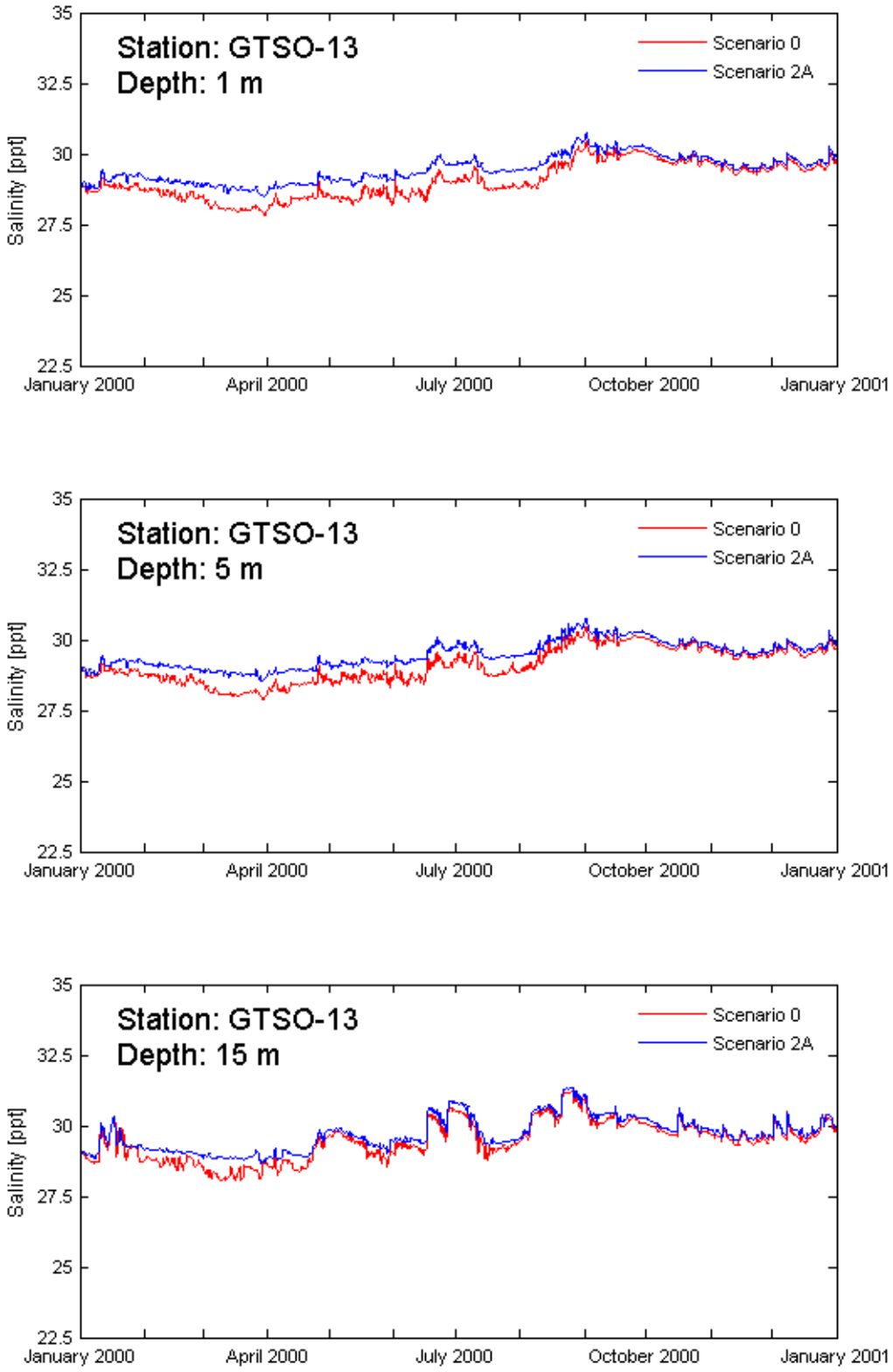
effect van de opening van de Flakkeese Spuisluis op het zoutgehalte steeds kleiner. In het uiterste westen is het zelfs te verwaarlozen.

*Stratificatie*

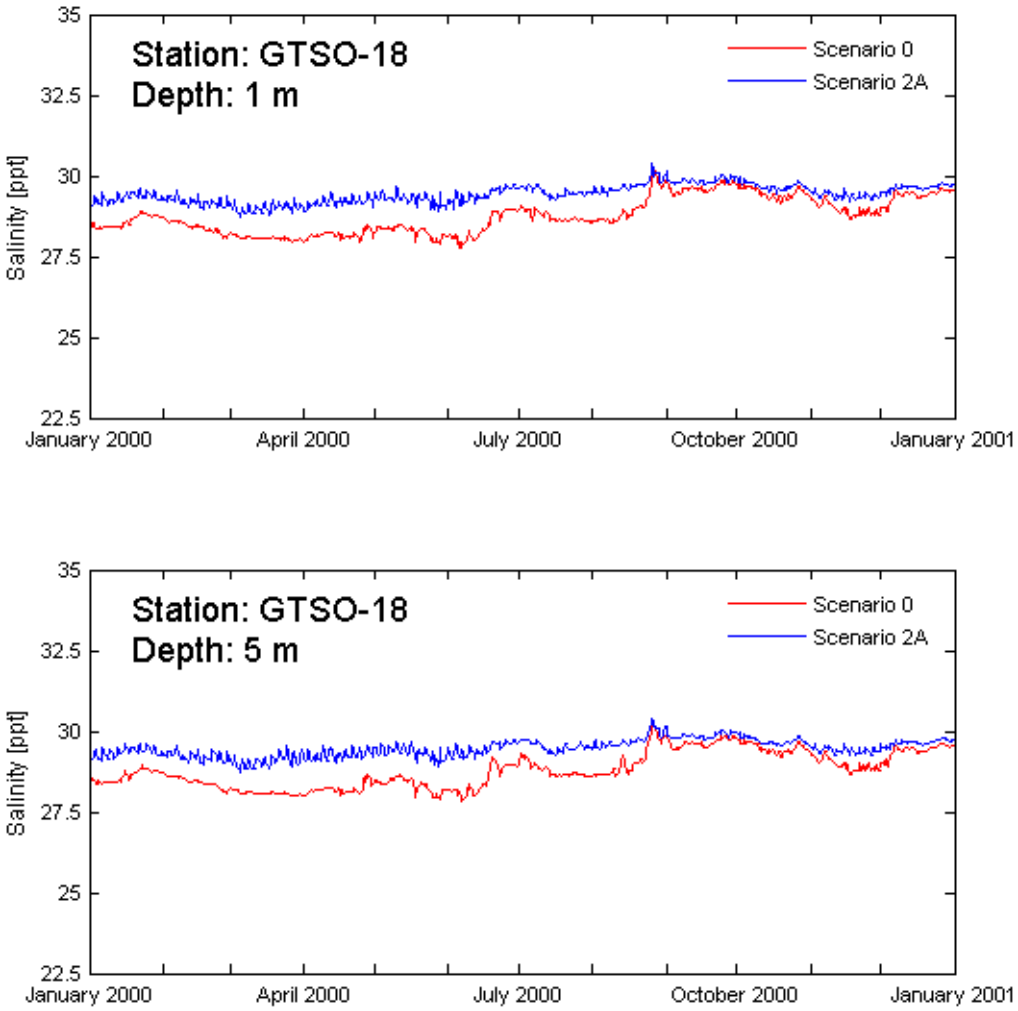
In Figuur 4.18 zijn tijdreeksen van de maximale verschillen in dichtheid over de verticaal getoond, als maat voor de optredende stratificatie. Hieruit en uit plots op andere locaties blijkt dat de verschillen in stratificatie ten gevolge van de opening van de Flakkeese Spuisluis klein zijn (bij een zoutgehalte van 29.8 in de Oosterschelde). Indien verschillen optreden betreft het een verkleining van de mate van stratificatie.



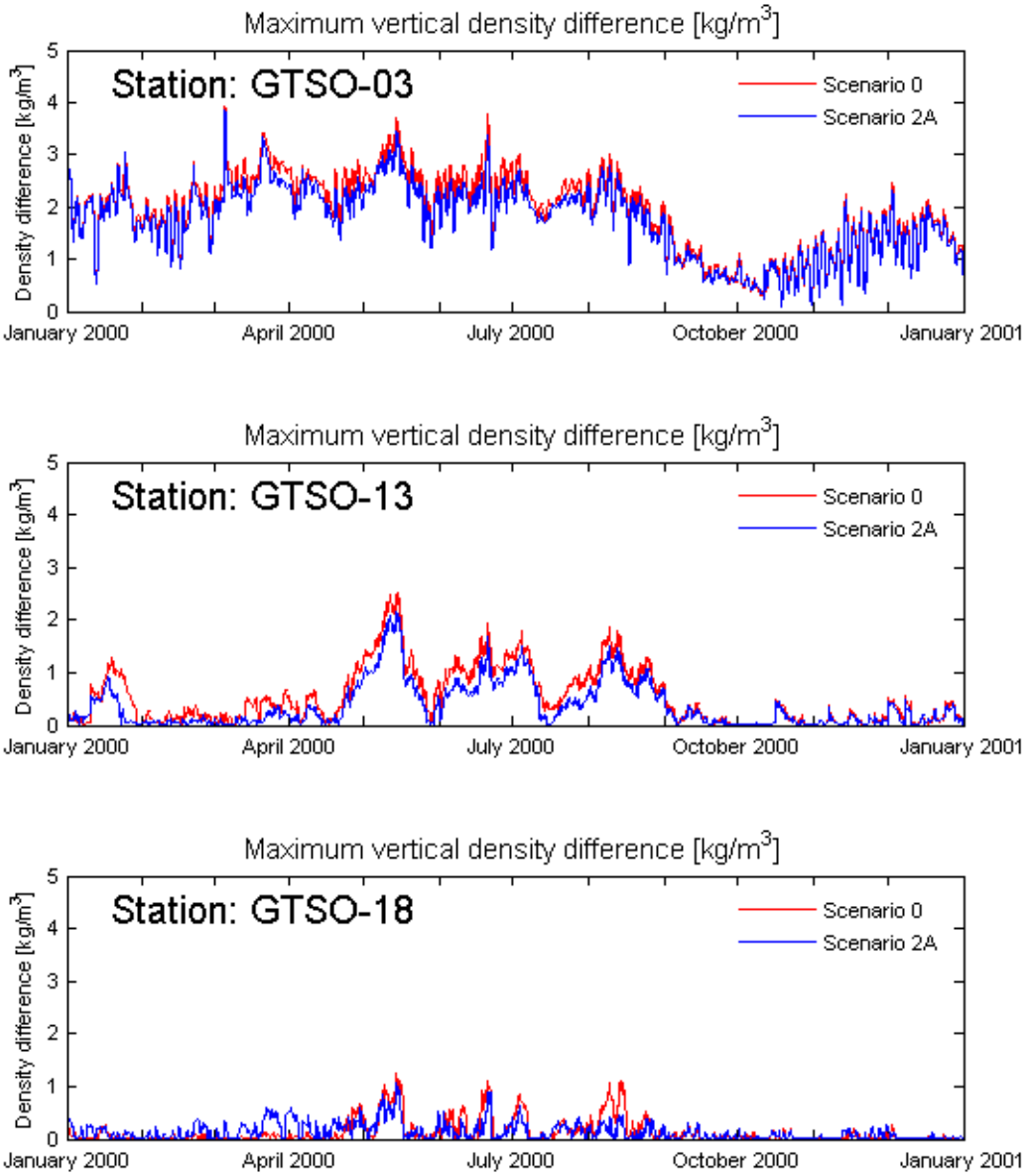

*Figuur 4.15: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-03 (blauwe lijn: Scenario 2A; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.16: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-13 (blauwe lijn: Scenario 2A; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.17: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m en 5 m diepte op locatie GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 2A; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.18: Tijdreeks van het maximale verschil in dichtheid over de vertikaal op locatie GTSO-03, GTSO-13 en GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 2A; rode lijn: Scenario 0).*

### 4.2.5 Scenario 2B

Scenario 2B (uitwisseling beperkt, B) representeert de situatie waarbij de Flakkeese Spuisluis in werking is met een daggemiddeld debiet van 65 $m^3/s$. Het zoutgehalte in de Oosterschelde, en dus ook van het instromende water, is 23,8 ppt.

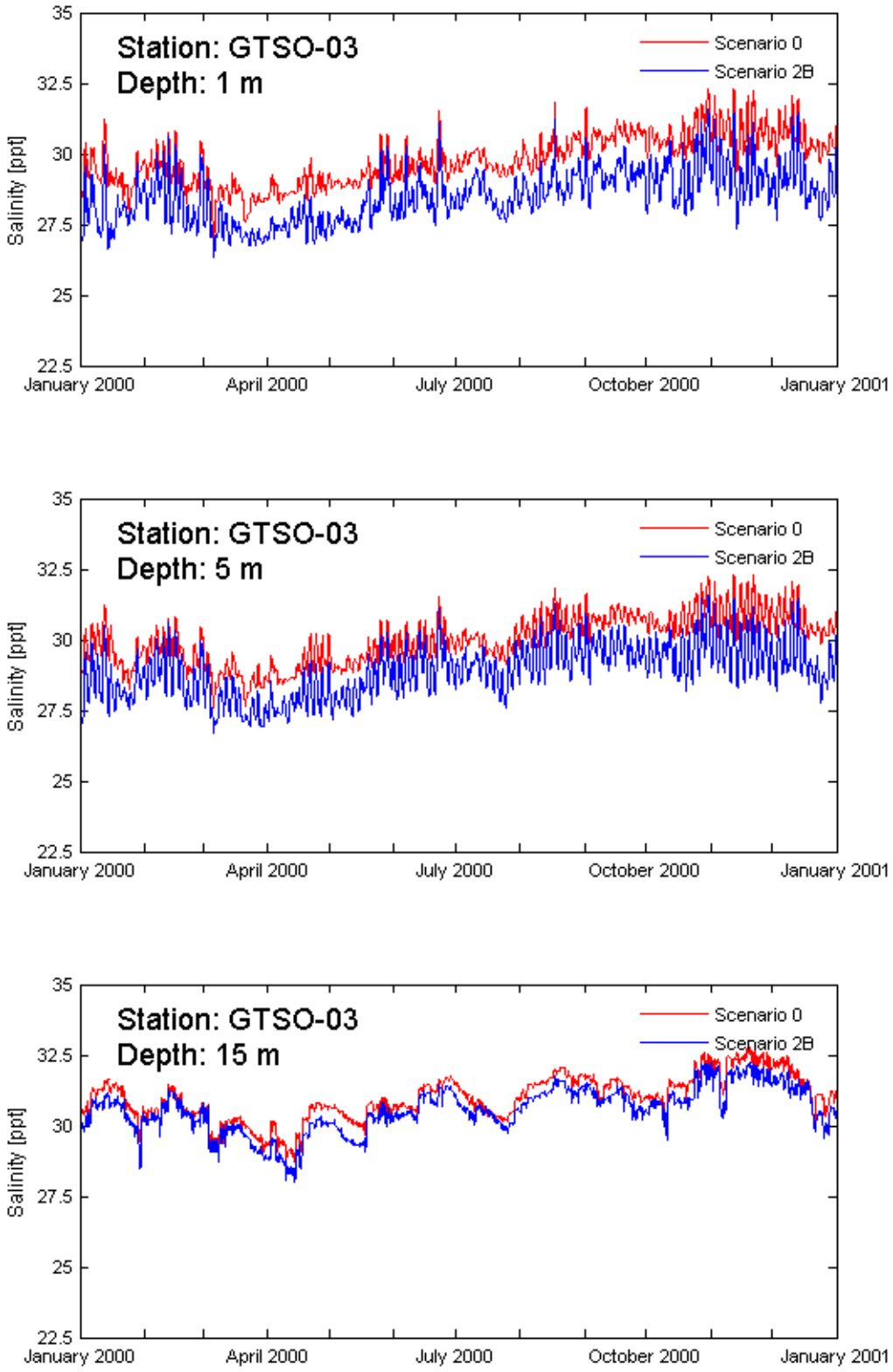
*Tijdreeksen*

In Figuur 4.19 t/m 4.21 zijn tijdreeksen van het zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte getoond. Uit de gegevens van de getoonde en andere locaties blijkt dat in het uiterste oosten van het Grevelingenmeer het zoutgehalte afneemt met meer dan 3 ppt tot rond de 25 ppt. Ook neemt de temporele variabiliteit in zoutgehalte toe. Richting het westen wordt het effect van de opening van de Flakkeese Spuisluis op het zoutgehalte en de variatie daarin steeds

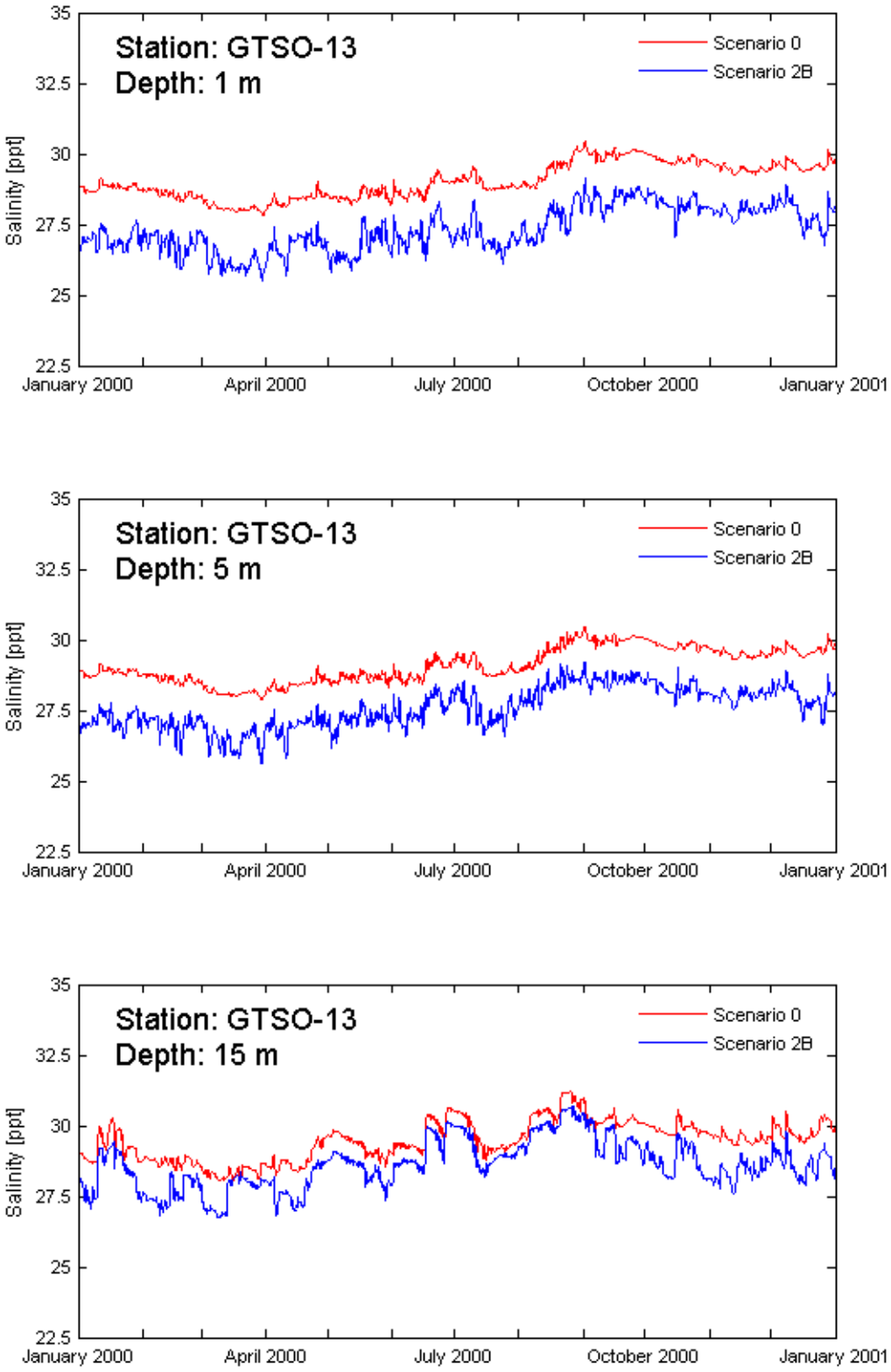
kleiner. In het uiterste westen is de verlaging van het zoutgehalte ongeveer 1 ppt in de bovenlaag. Op 15 m diepte zijn de verlagingen van het zoutgehalte kleiner.

*Stratificatie*

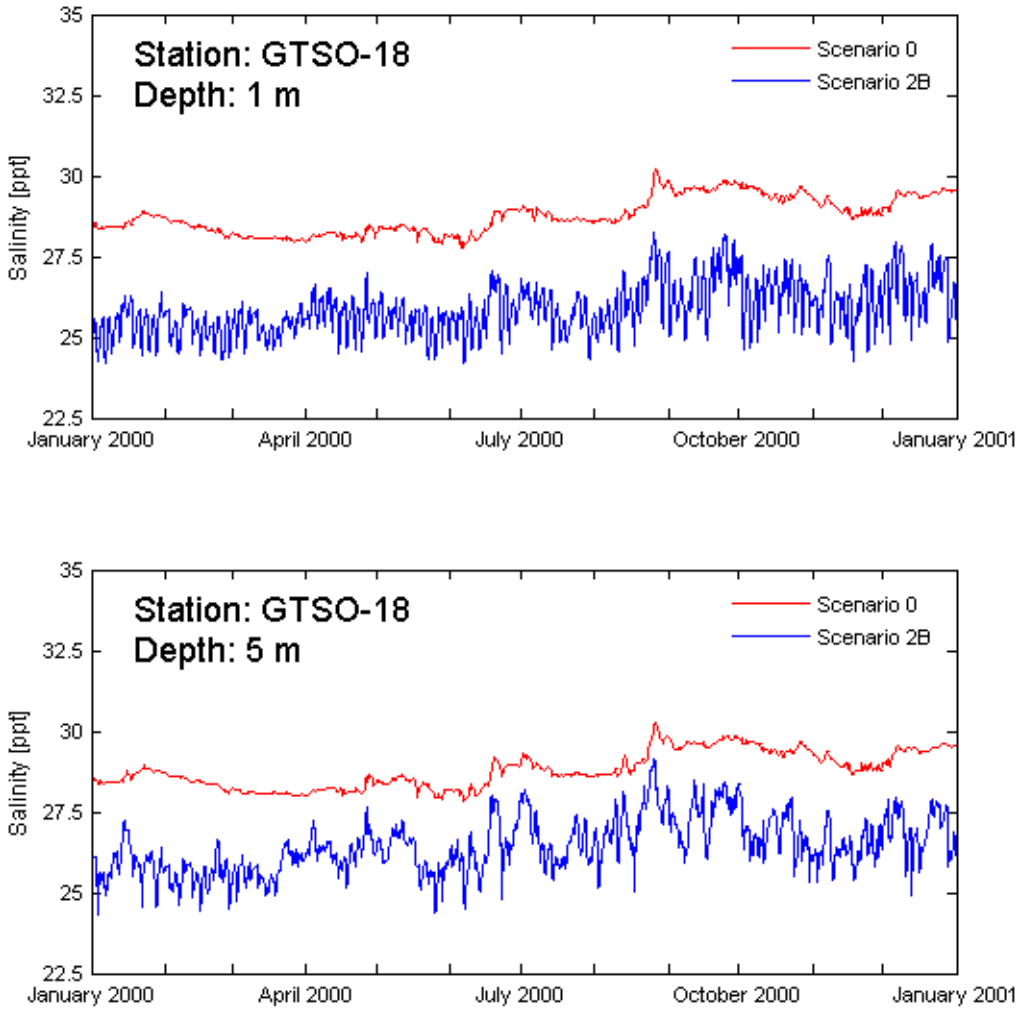
In Figuur 4.22 zijn tijdreeksen van de maximale verschillen in dichtheid over de verticaal getoond, als maat voor de optredende stratificatie. Hieruit en uit plots op andere locaties blijkt dat de stratificatie ten gevolge van de opening van de Flakkeese Spuisluis toeneemt (bij een zoutgehalte van 23,8 in de Oosterschelde). In het uiterste oosten van het Grevelingenmeer zijn er toenamen van de verticale dichtheidsverschillen van meer dan 3 $kg/m^3$, waar voorheen nauwelijks stratificatie voorkwam. Richting het westen worden de verschillen met Scenario 0 kleiner.



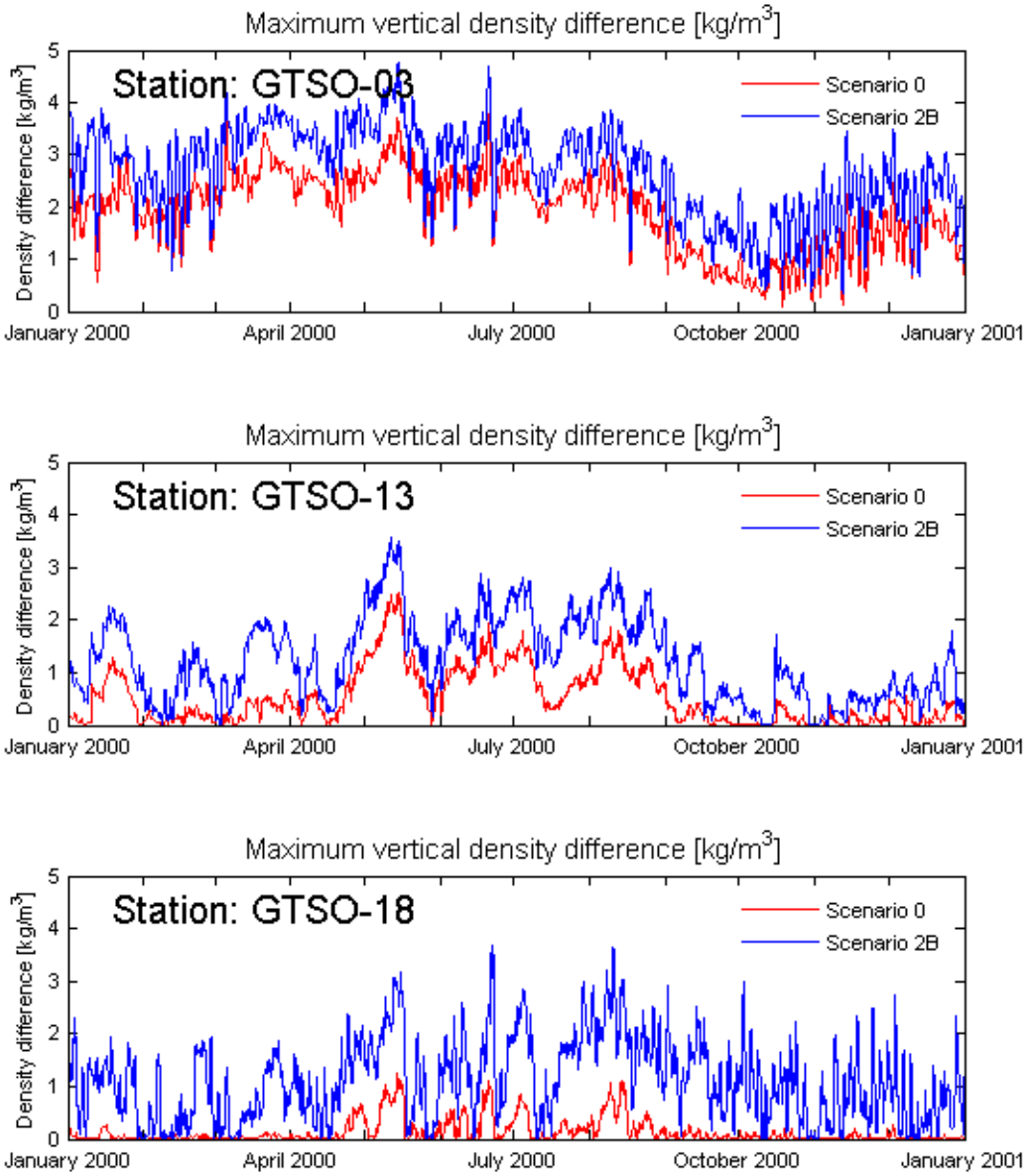

*Figuur 4.19: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-03 (blauwe lijn: Scenario 2B; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.20: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-13 (blauwe lijn: Scenario 2B; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.21: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m en 5 m diepte op locatie GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 2B; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.22: Tijdreeks van het maximale verschil in dichtheid over de vertikaal op locatie GTSO-03, GTSO-13 en GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 2B; rode lijn: Scenario 0).*

### 4.2.6 Scenario 3A

Scenario 3A (doorspoelen van oost naar west, A) representeert de situatie waarbij de Flakkeese Spuisluis in werking is met alleen een ingaand daggemiddeld debiet van 65 $m^3/s$. In uitgaande richting is er alleen een debiet door de Brouwerssluis. Daardoor is er een netto transport van water vanuit het oosten richting het westen. Het zoutgehalte in de Oosterschelde, en dus ook van het instromende water, is 29.8 ppt.

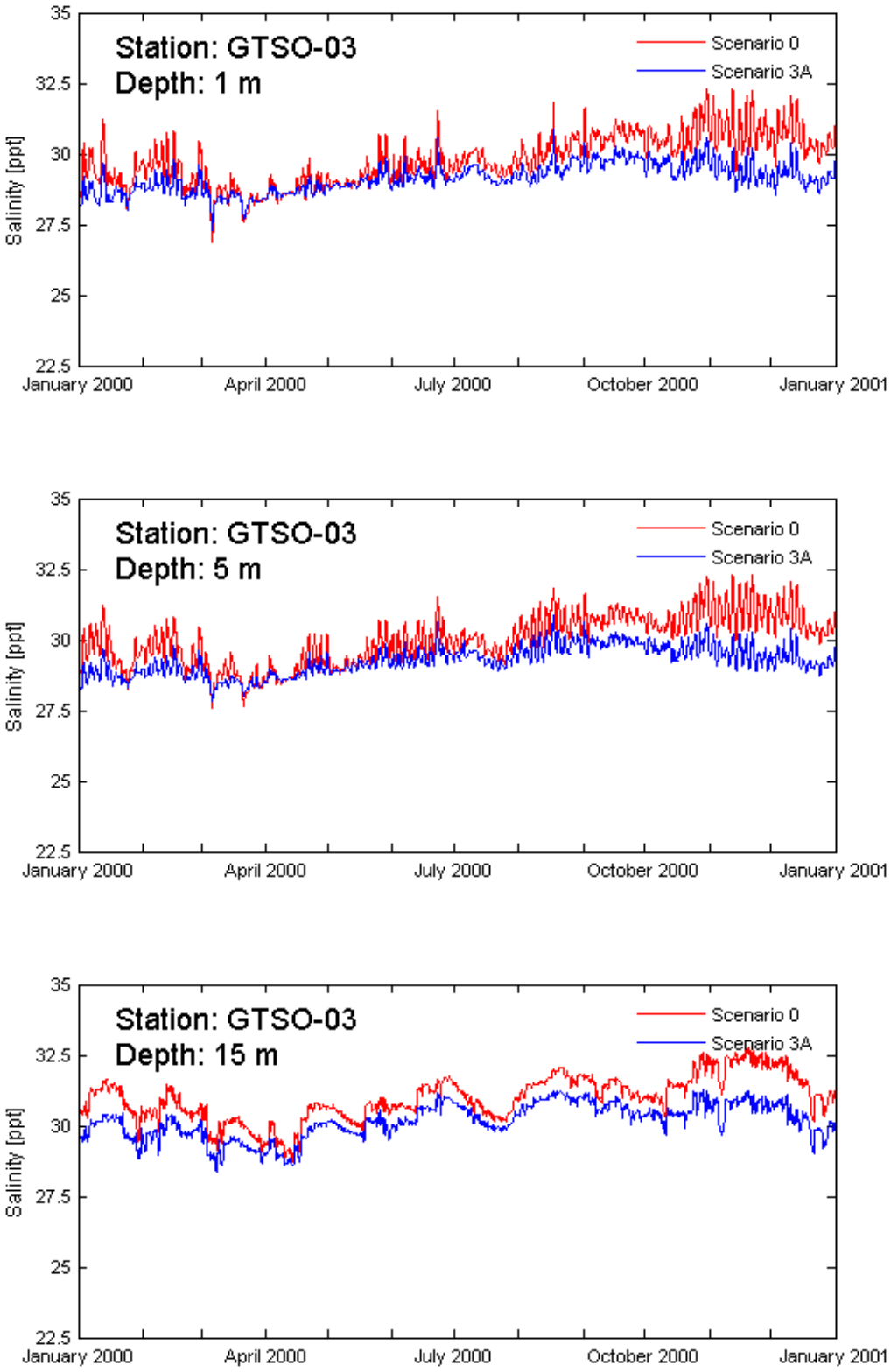
*Tijdreeksen*

In Figuur 4.23 t/m 4.25 zijn tijdreeksen van het zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte getoond. Uit de gegevens van de getoonde en andere locaties blijkt dat er nauwelijks

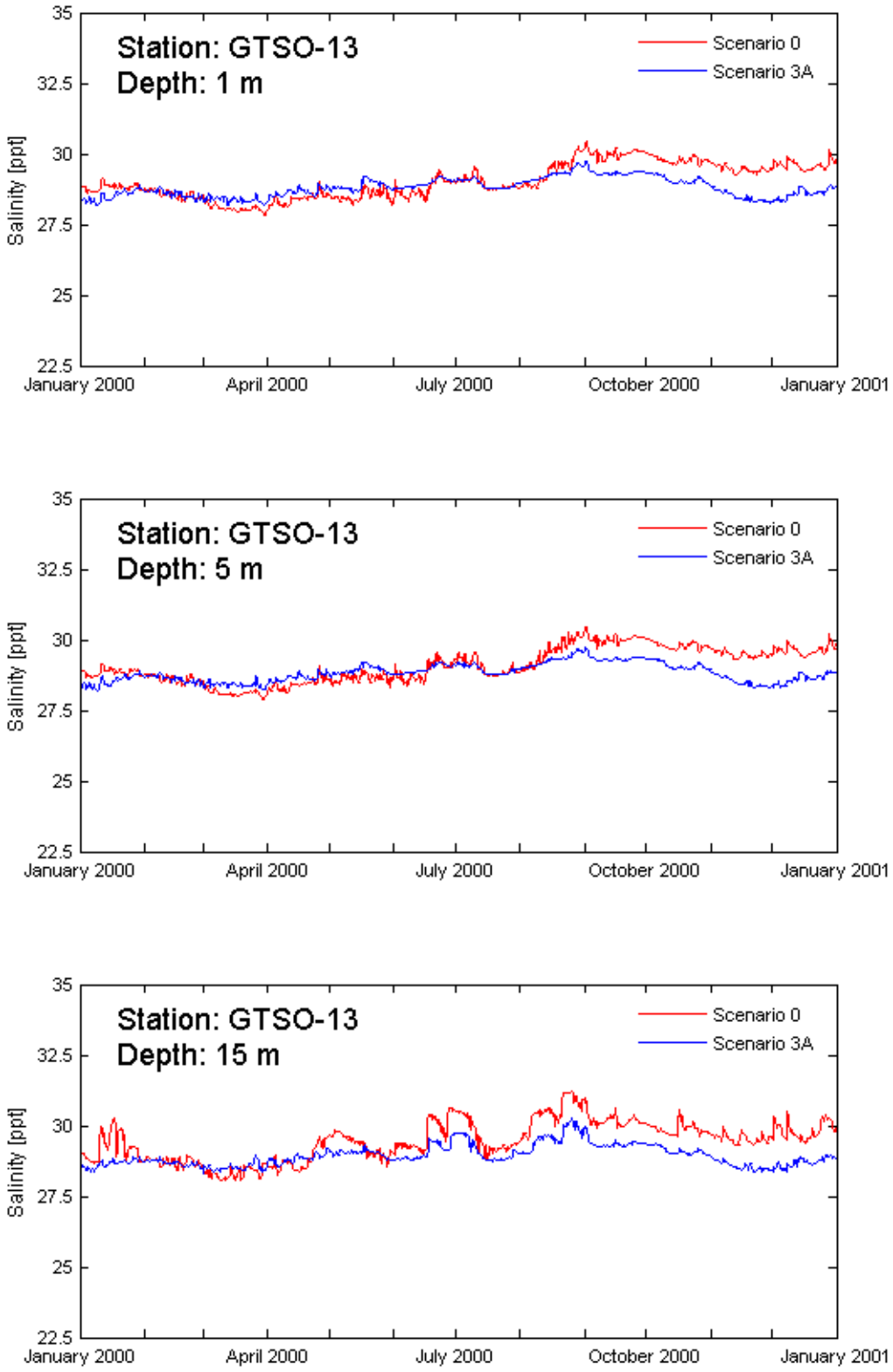
gevolgen zijn voor het zoutgehalte. De verschillen met Scenario 0 zijn meestal kleiner dan 1 ppt. Het jaarverloop dat in Scenario 0 enigszins aanwezig was zwakt af in Scenario 3A.

*Stratificatie*

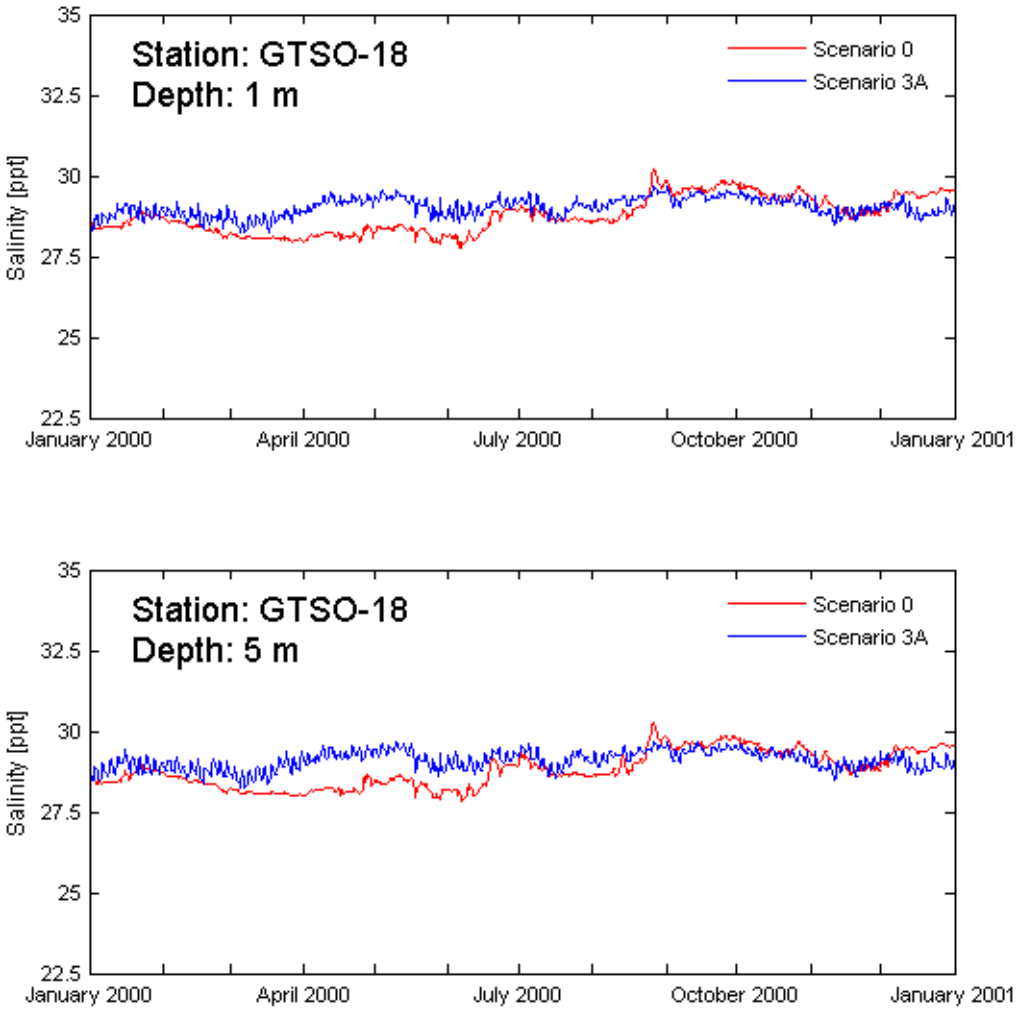
In Figuur 4.26 zijn tijdreeksen van de maximale verschillen in dichtheid over de verticaal getoond, als maat voor de optredende stratificatie. Hieruit en uit plots op andere locaties blijkt dat de stratificatie ten gevolge van de opening van de Flakkeese Spuisluis enigszins afneemt. De afname in dichtheidsverschil over de verticaal is echter vrijwel nergens groter dan 1 kg/$m^3$.



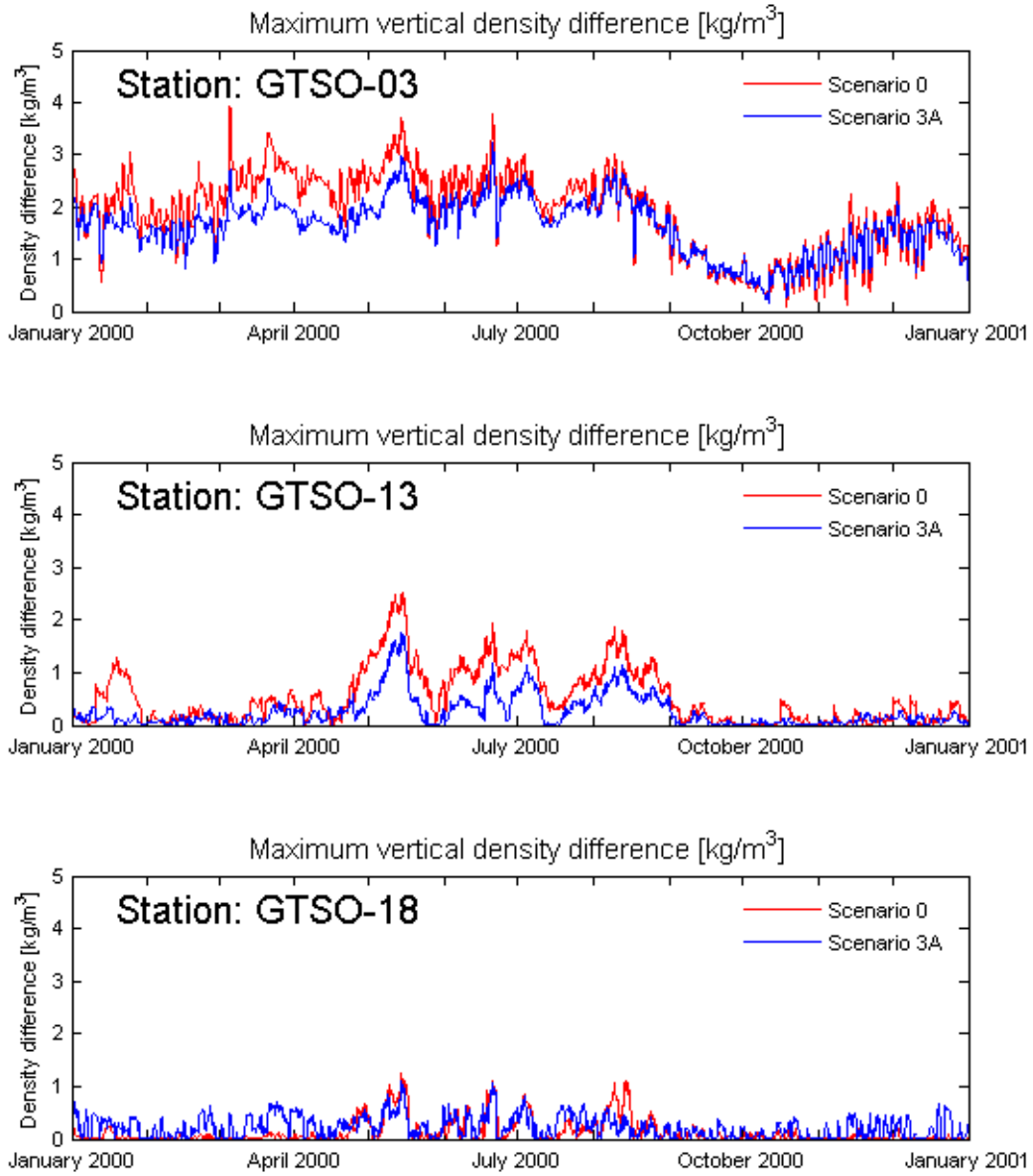

*Figuur 4.23: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-03 (blauwe lijn: Scenario 3A; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.24: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-13 (blauwe lijn: Scenario 3A; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.25: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m en 5 m diepte op locatie GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 3A; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.26: Tijdreeks van het maximale verschil in dichtheid over de vertikaal op locatie GTSO-03, GTSO-13 en GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 3A; rode lijn: Scenario 0).*

### 4.2.7 Scenario 3B

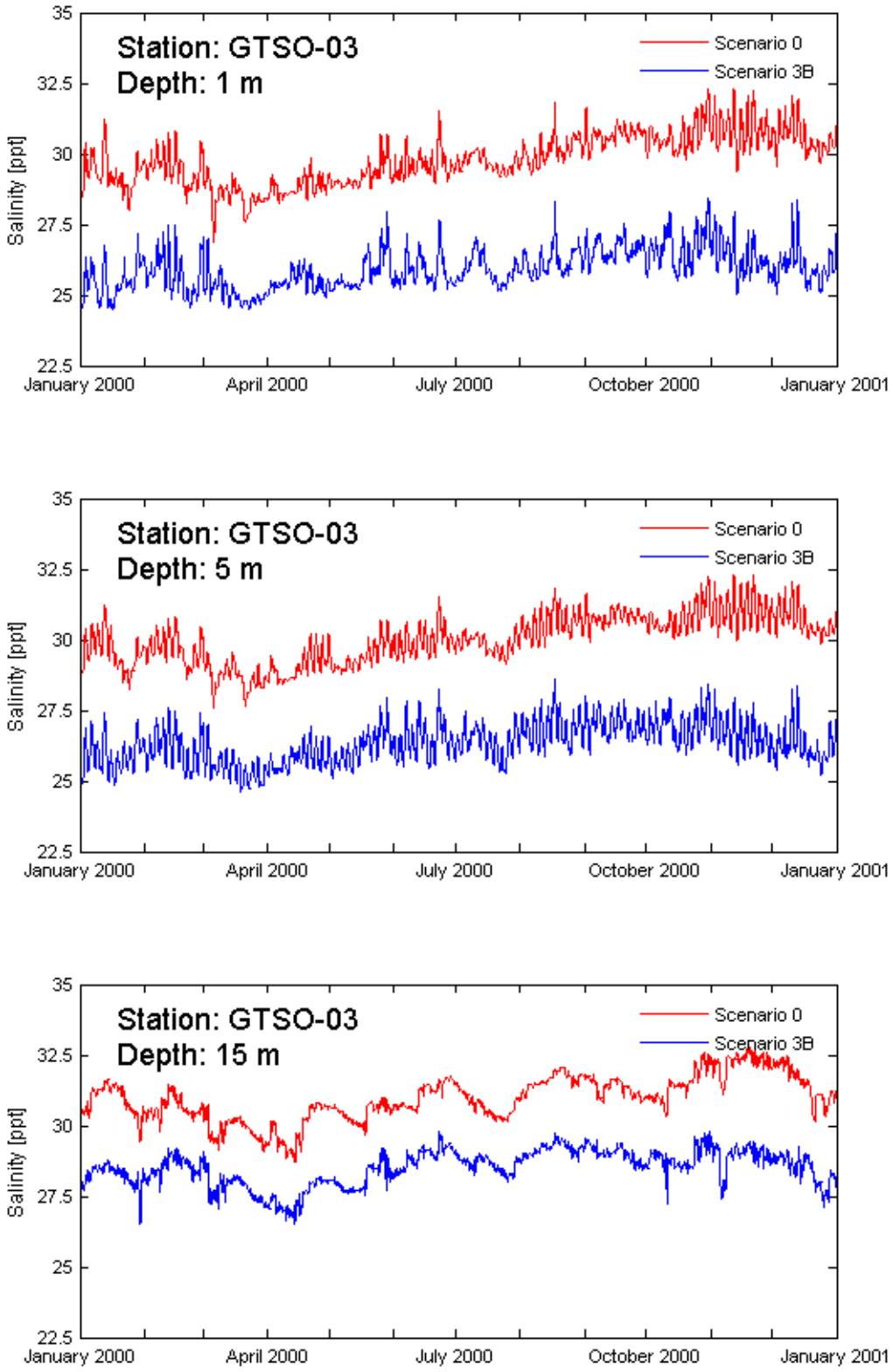
Scenario 3B (doorspoelen van oost naar west, B) representeert de situatie waarbij de Flakkeese Spuisluis in werking is met alleen een ingaand daggemiddeld debiet van 65 $m^3/s$. In uitgaande richting is er alleen een debiet door de Brouwerssluis. Daardoor is er een netto transport van water vanuit het oosten richting het westen. Het zoutgehalte in de Oosterschelde, en dus ook van het instromende water, is 23.8 ppt.

*Tijdreeksen*

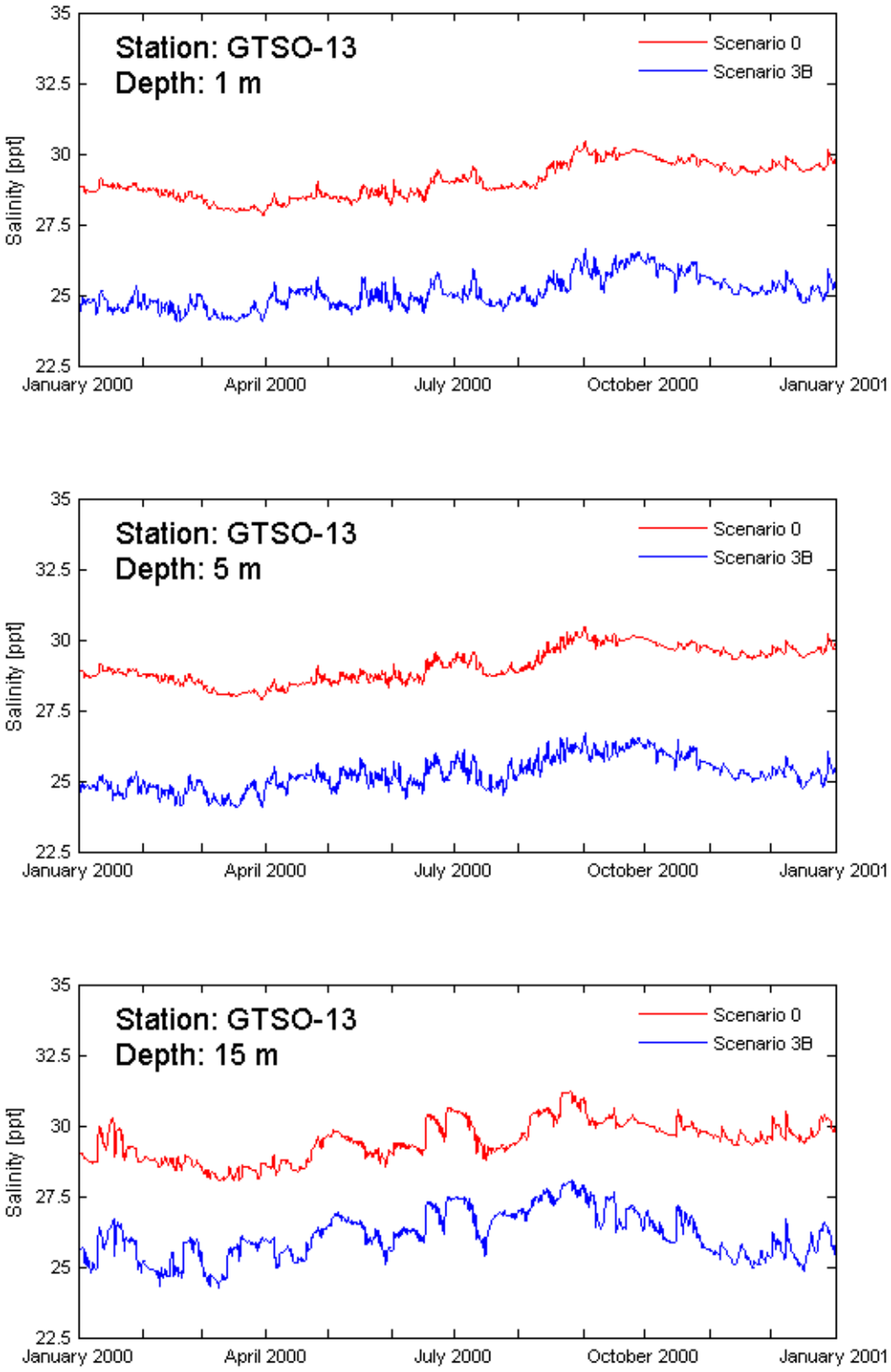
In Figuur 4.27 t/m 4.29 zijn tijdreeksen van het zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte getoond. Uit de gegevens van de getoonde en andere locaties blijkt dat het zoutgehalte in bovenlaag met ca. 4 ppt daalt. Op 15 m diepte is de daling enigszins kleiner.

*Stratificatie*

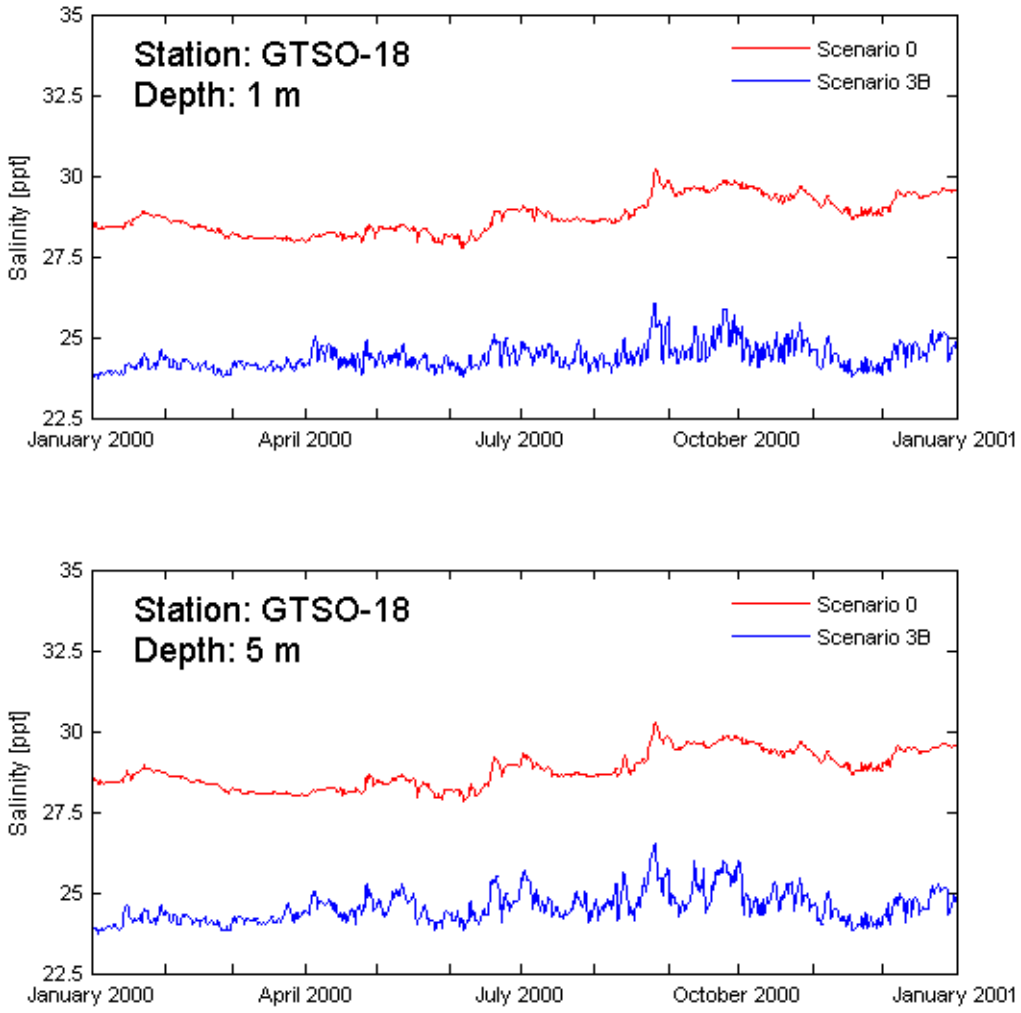
In Figuur 4.30 zijn tijdreeksen van de maximale verschillen in dichtheid over de verticaal getoond, als maat voor de optredende stratificatie. Hieruit en uit plots op andere locaties blijkt dat de stratificatie ten gevolge van de opening van de Flakkeese Spuisluis toeneemt. De toename in dichtheidsverschil over de verticaal is ongeveer 1.0 kg/m$^3$ (gemiddeld).



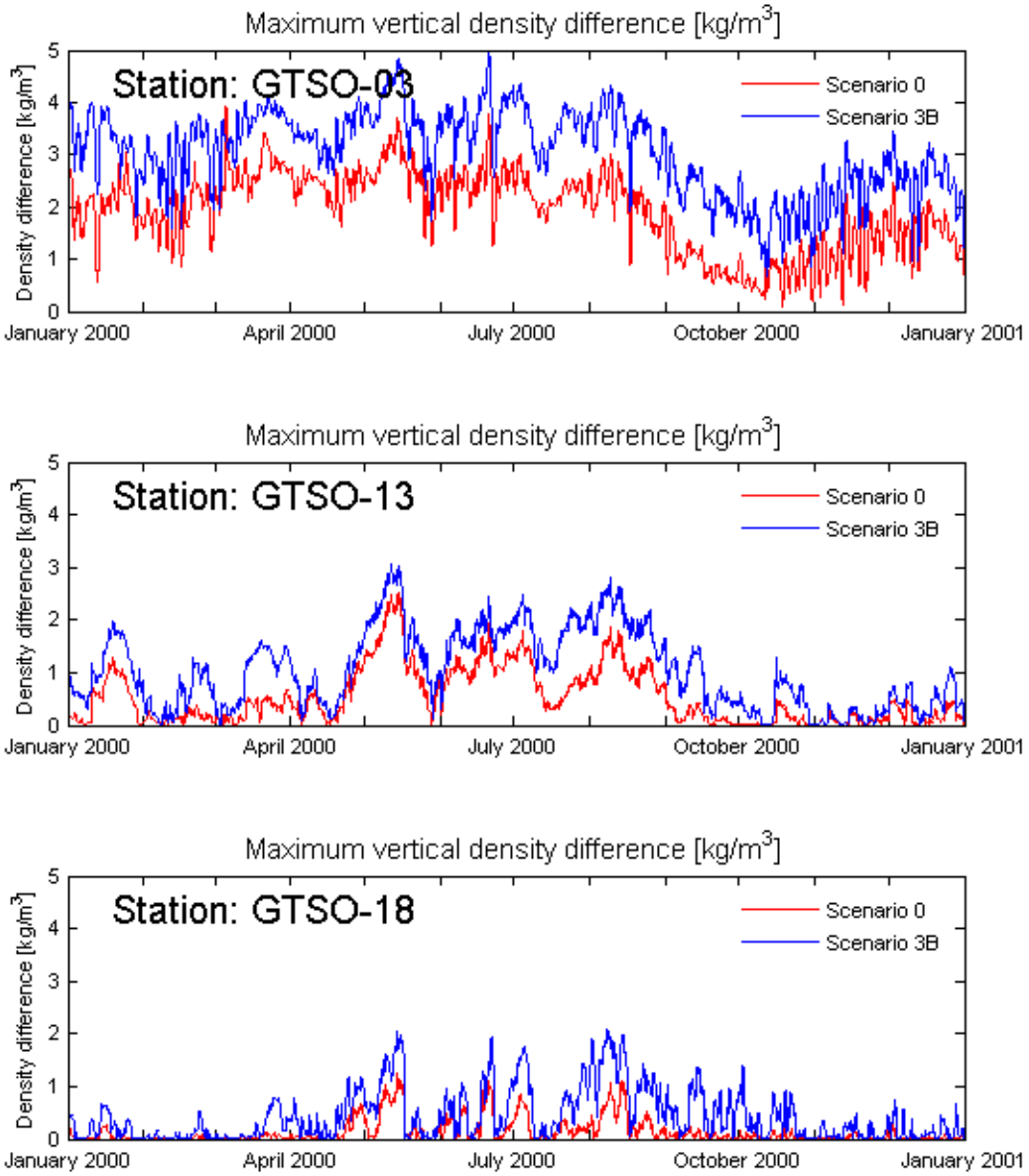

*Figuur 4.27: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-03 (blauwe lijn: Scenario 3B; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.28: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-13 (blauwe lijn: Scenario 3B; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.29: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m en 5 m diepte op locatie GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 3B; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.30: Tijdreeks van het maximale verschil in dichtheid over de vertikaal op locatie GTSO-03, GTSO-13 en GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 3B; rode lijn: Scenario 0).*

### 4.2.8 Scenario 3C

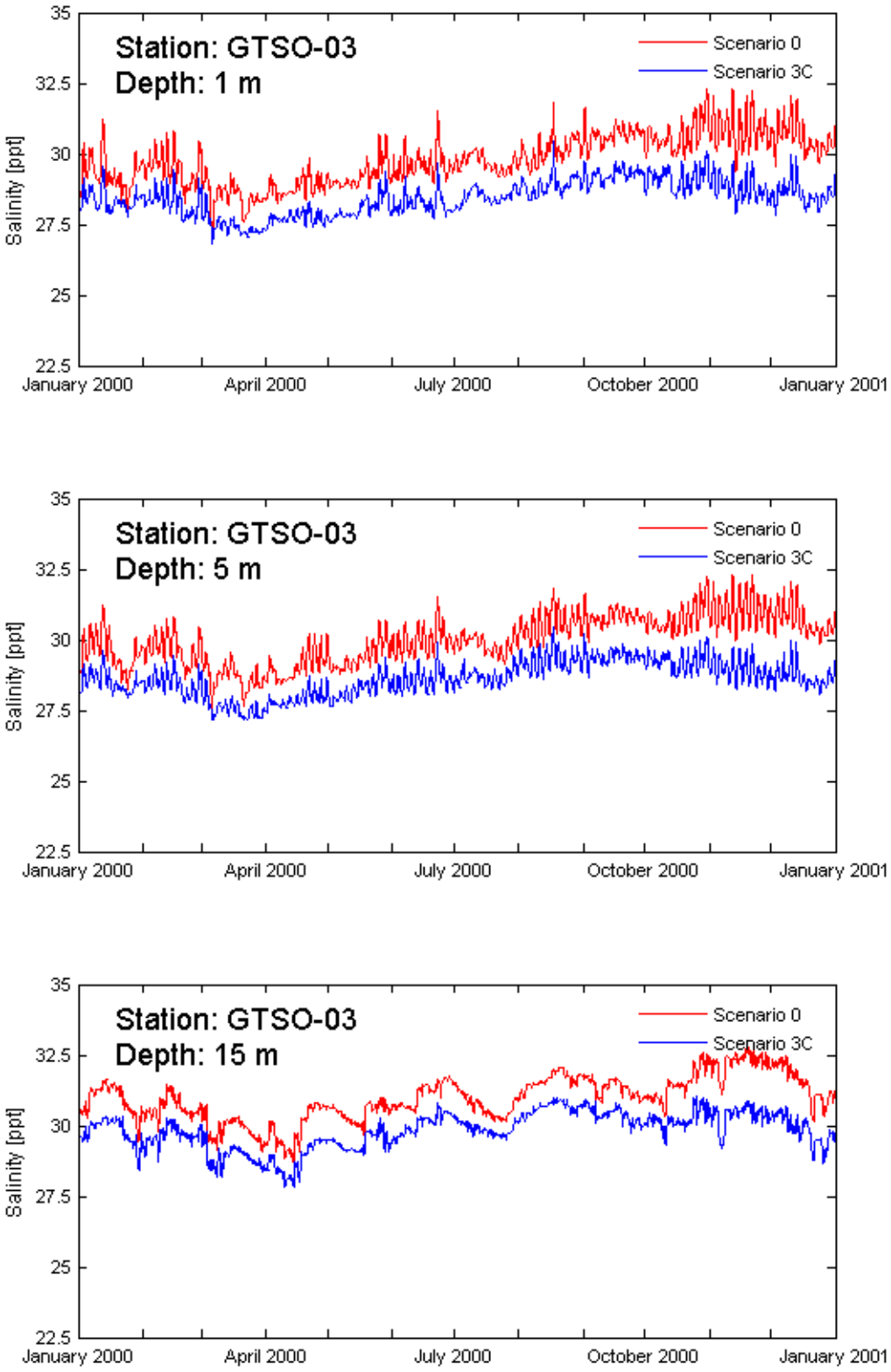
Scenario 3C (doorspoelen van oost naar west, C) representeert de situatie waarbij de Flakkeese Spuisluis in werking is met alleen een ingaand daggemiddeld debiet van 65 $m^3/s$. In uitgaande richting is er alleen een debiet door de Brouwerssluis. Daardoor is er een netto transport van water vanuit het oosten richting het westen. Het zoutgehalte en de temperatuur in de Oosterschelde, en dus ook van het instromende water, is gebaseerd op meetdata van locatie Plaat van Oude Tonge. Het enige verschil met Scenario 3A is het opgelegde zout- en temperatuursverloop in de Oosterschelde in het huidige scenario tijdsvariabel is genomen.

*Tijdreeksen*

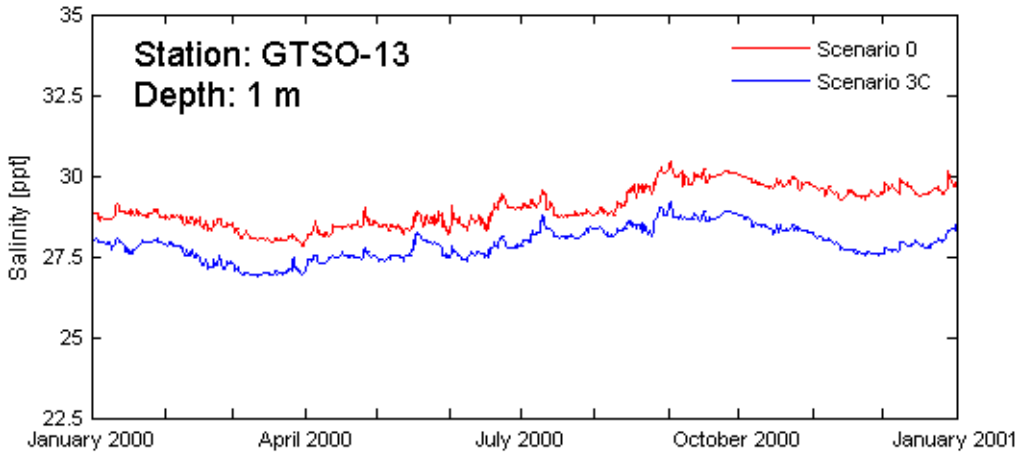
In Figuur 4.31 t/m 4.33 zijn tijdreeksen van het zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte getoond. Uit de gegevens van de getoonde en andere locaties blijkt dat het zoutgehalte in bovenlaag met ca. 1ppt daalt. In het zuidoosten van het Grevelingenmeer neemt de temporele variatie in zoutgehalte enigszins toe.

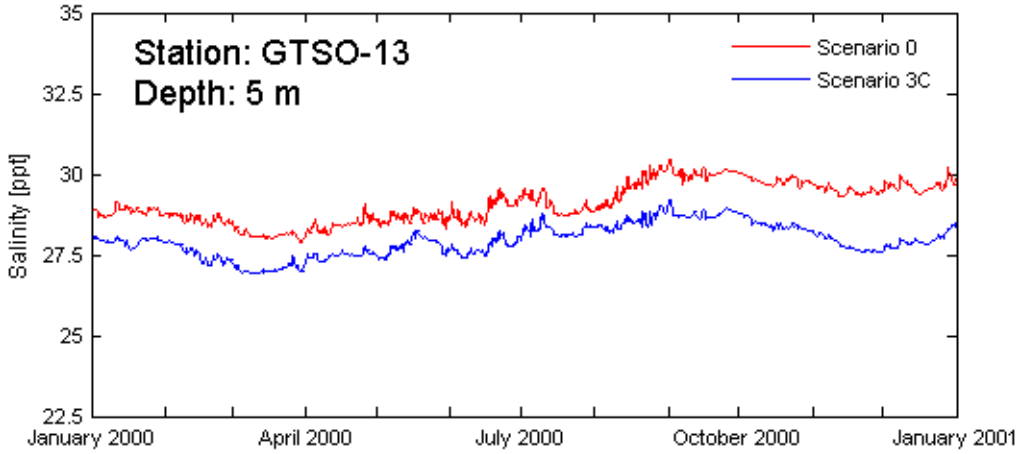
*Stratificatie*

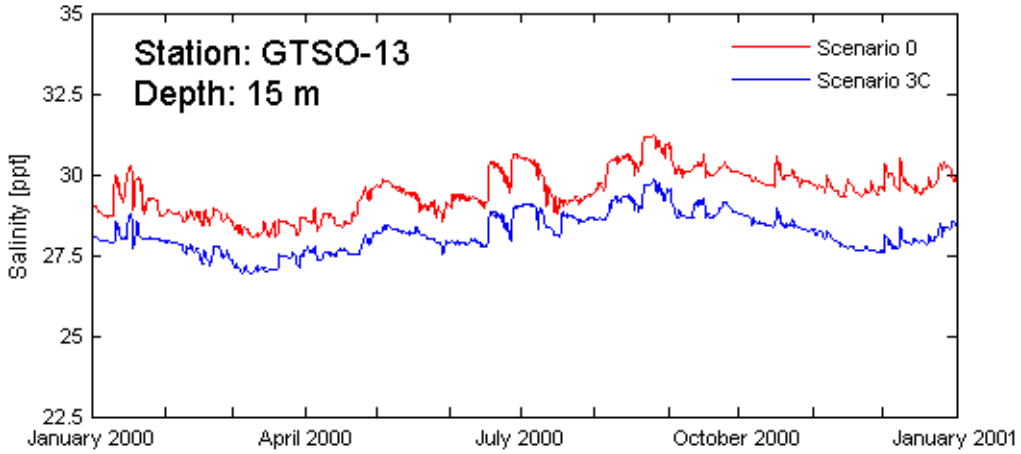
In Figuur 4.34 zijn tijdreeksen van de maximale verschillen in dichtheid over de verticaal getoond, als maat voor de optredende stratificatie. Hieruit en uit plots op andere locaties blijkt dat de stratificatie ten gevolge van de opening van de Flakkeese Spuisluis nauwelijks verandert.



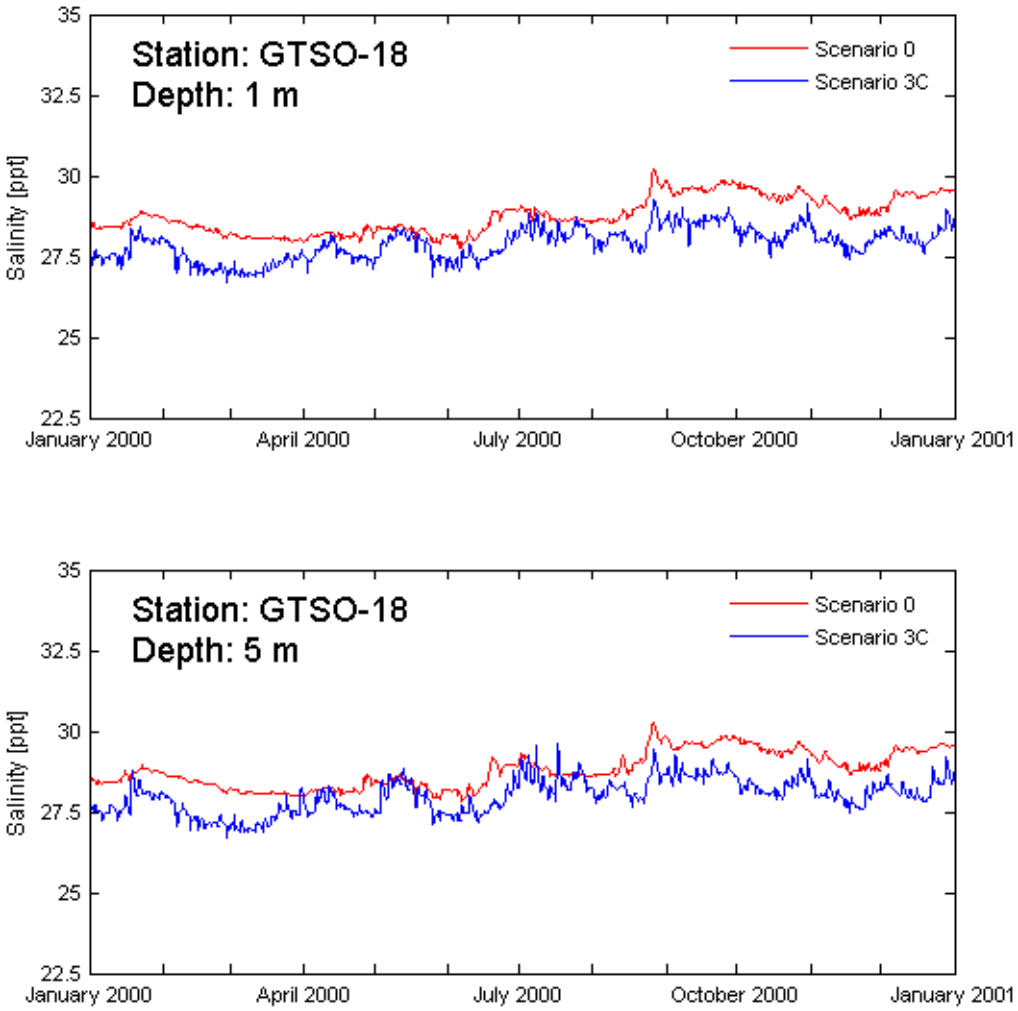

*Figuur 4.31: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-03 (blauwe lijn: Scenario 3C; rode lijn: Scenario 0).*



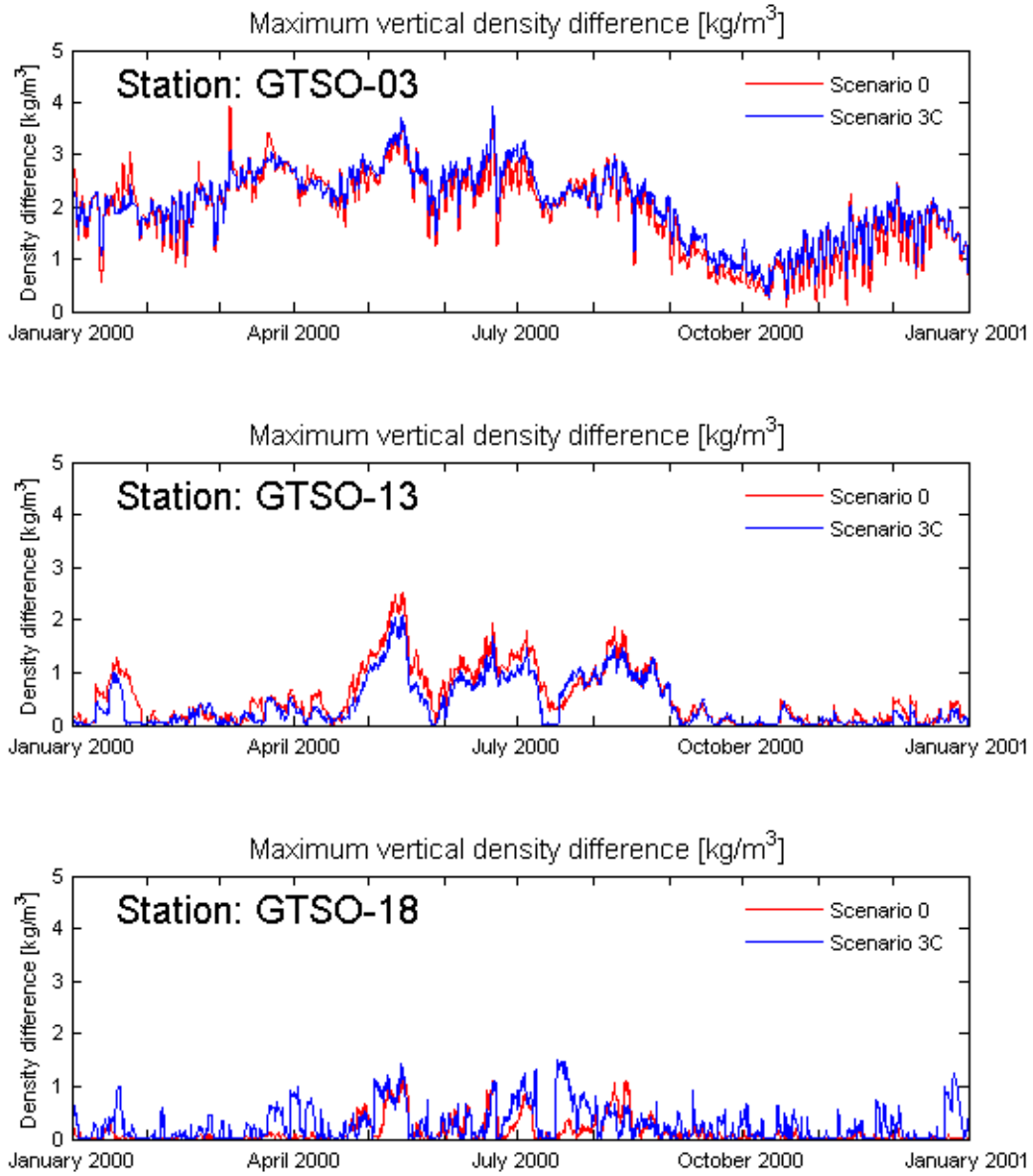




*Figuur 4.32: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-13 (blauwe lijn: Scenario 3C; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.33: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m en 5 m diepte op locatie GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 3C; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.34: Tijdreeks van het maximale verschil in dichtheid over de vertikaal op locatie GTSO-03, GTSO-13 en GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 3C; rode lijn: Scenario 0).*

### 4.2.9 Scenario 4

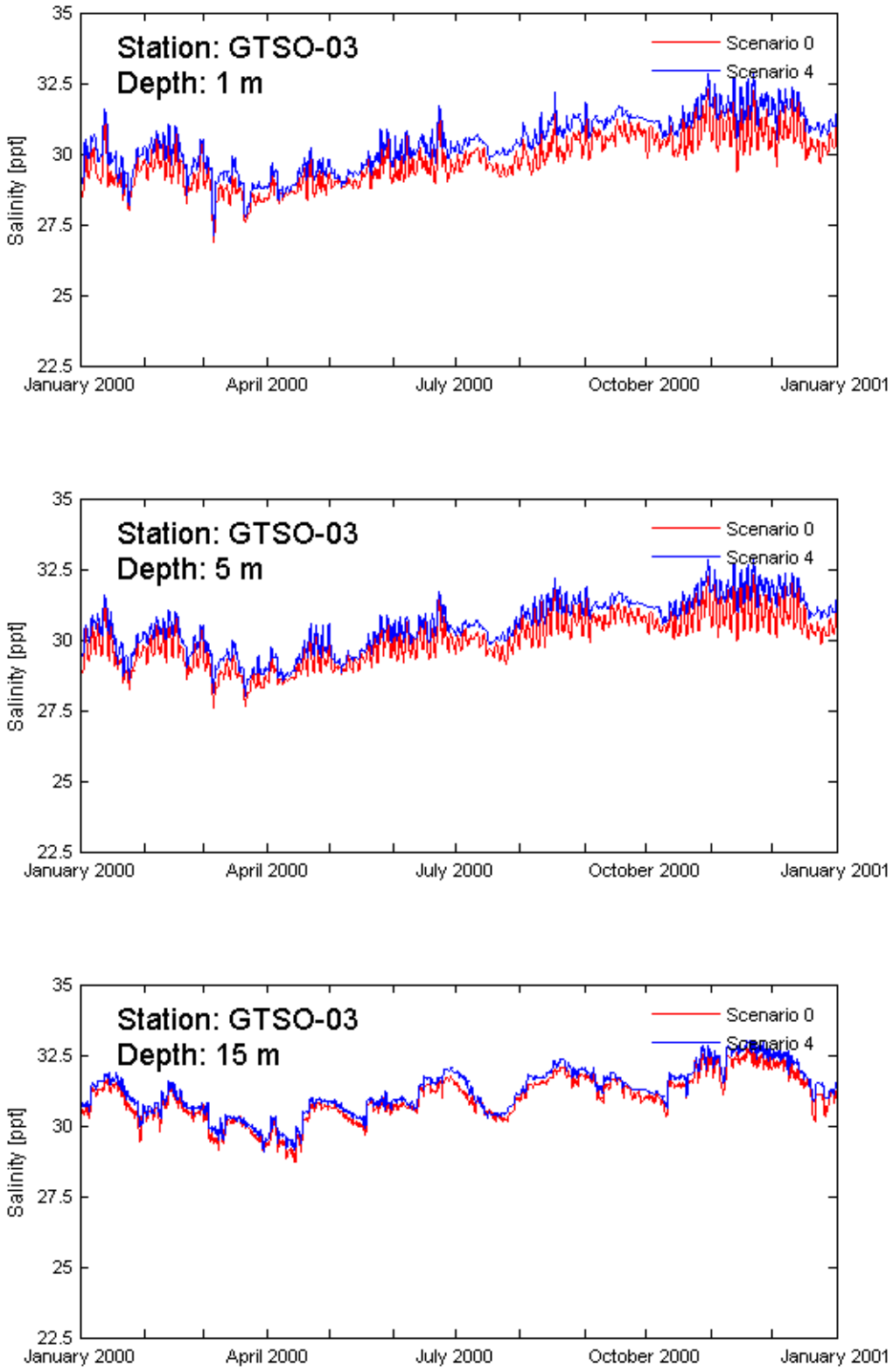
Scenario 4 (doorspoelen van west naar oost) representeert de situatie waarbij de Flakkeese Spuisluis in werking is met alleen een uitgaand daggemiddeld debiet van 65 $m^3/s$. In ingaande richting is er alleen een debiet door de Brouwerssluis. Daardoor is er een netto transport van water vanuit het westen richting het oosten.

*Tijdreeksen*

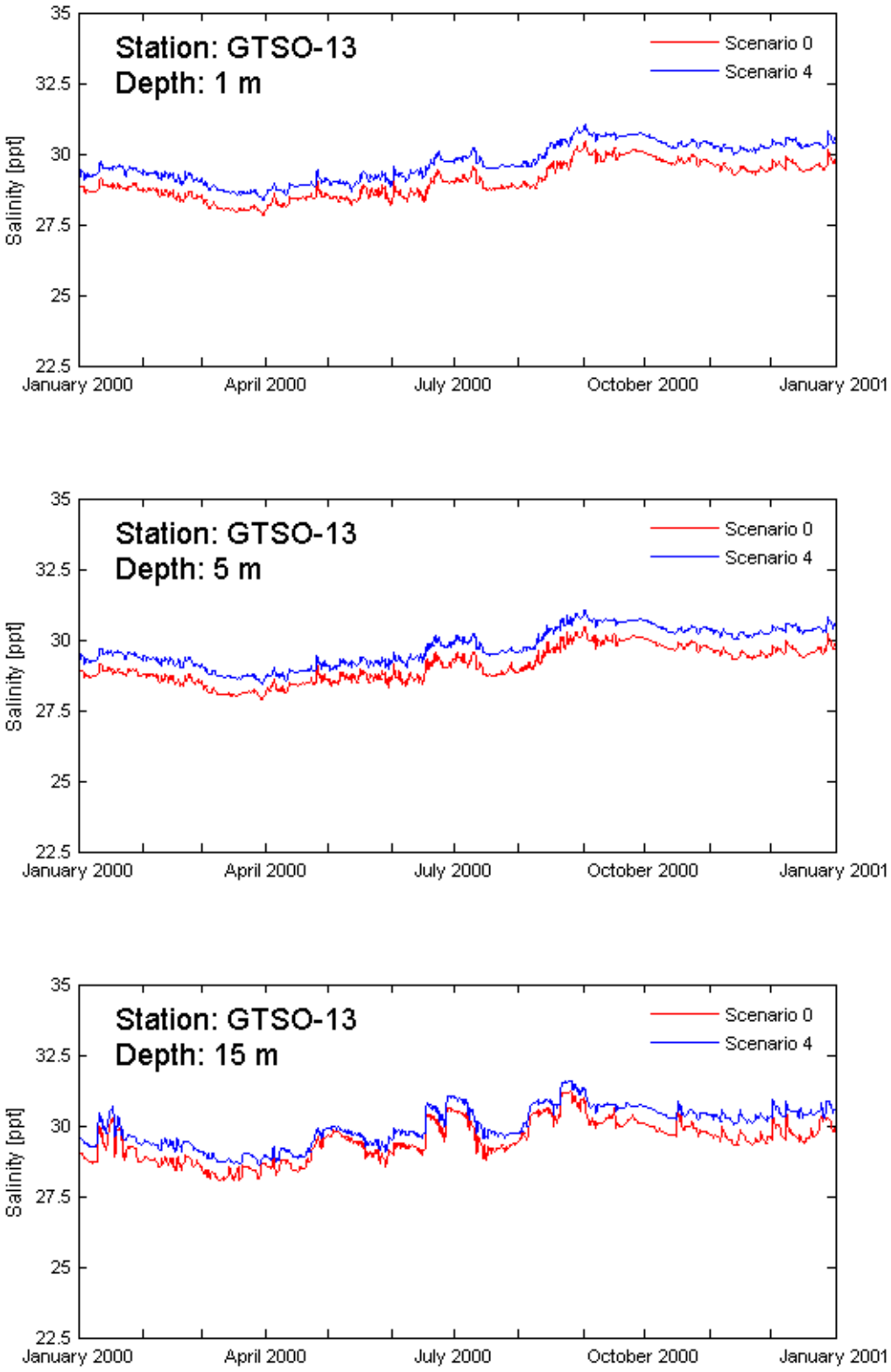
In Figuur 4.35 t/m 4.36 zijn tijdreeksen van het zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte getoond. Uit de gegevens van de getoonde en andere locaties blijkt dat het zoutgehalte in het Grevelingenmeer enigszins stijgt (met ca. 0,5 ppt).

*Stratificatie*

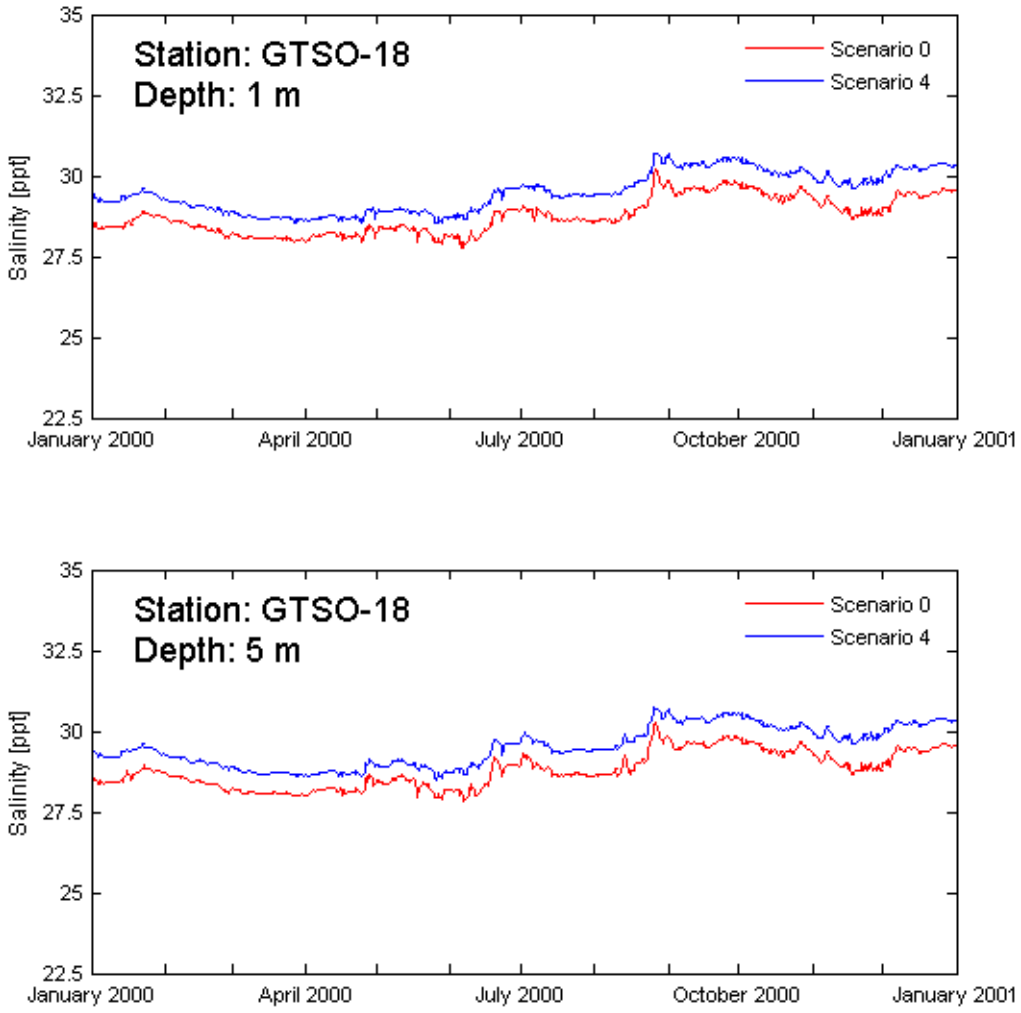
In Figuur 4.37 zijn tijdreeksen van de maximale verschillen in dichtheid over de verticaal getoond, als maat voor de optredende stratificatie. Hieruit en uit plots op andere locaties blijkt dat de stratificatie vrijwel ongewijzigd blijft.



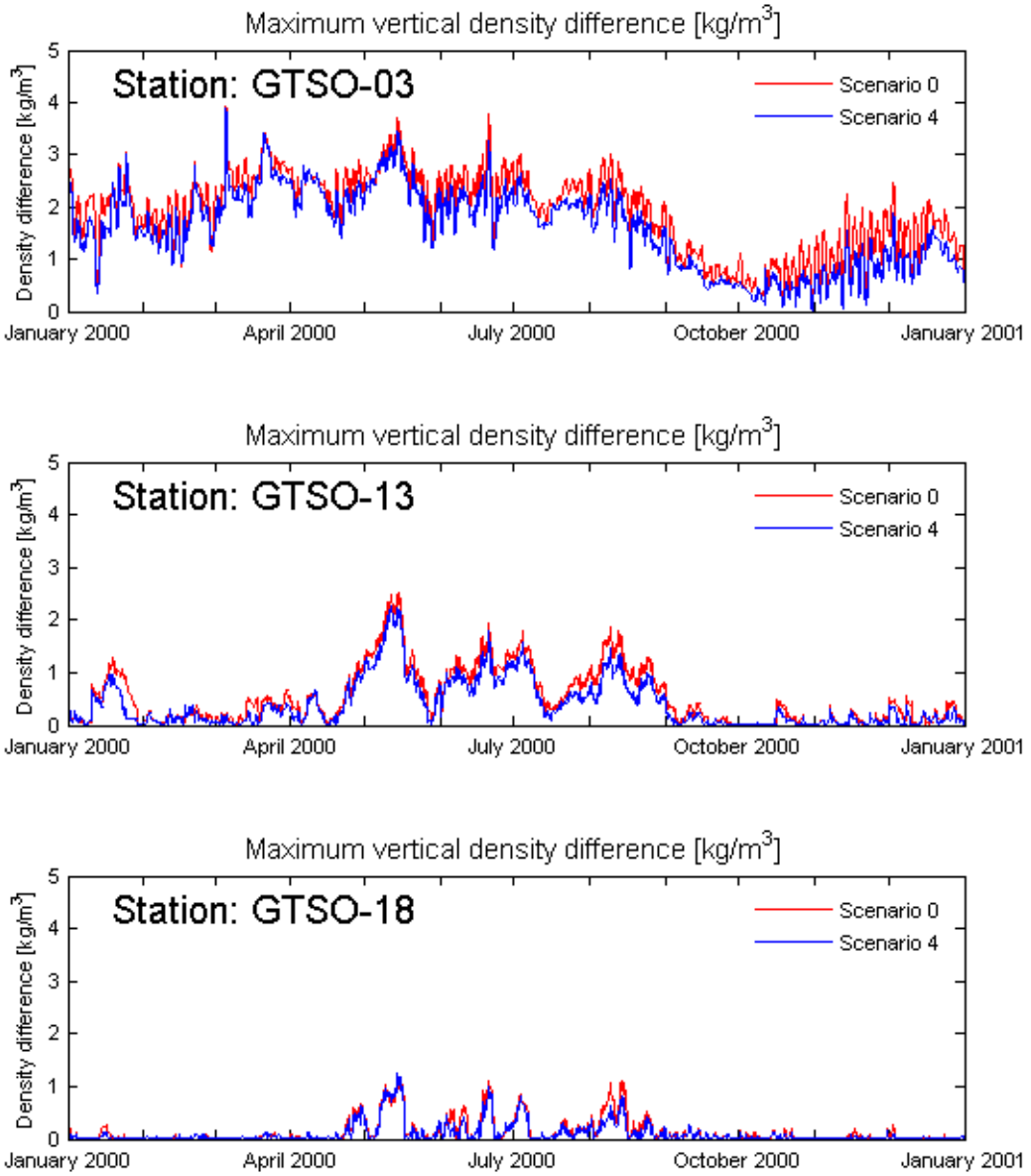

*Figuur 4.35: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-03 (blauwe lijn: Scenario 4; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.36: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-13 (blauwe lijn: Scenario 4; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.37: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m en 5 m diepte op locatie GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 4; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.38: Tijdreeks van het maximale verschil in dichtheid over de vertikaal op locatie GTSO-03, GTSO-13en GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 4; rode lijn: Scenario 0).*

### 4.2.10 Scenario 5

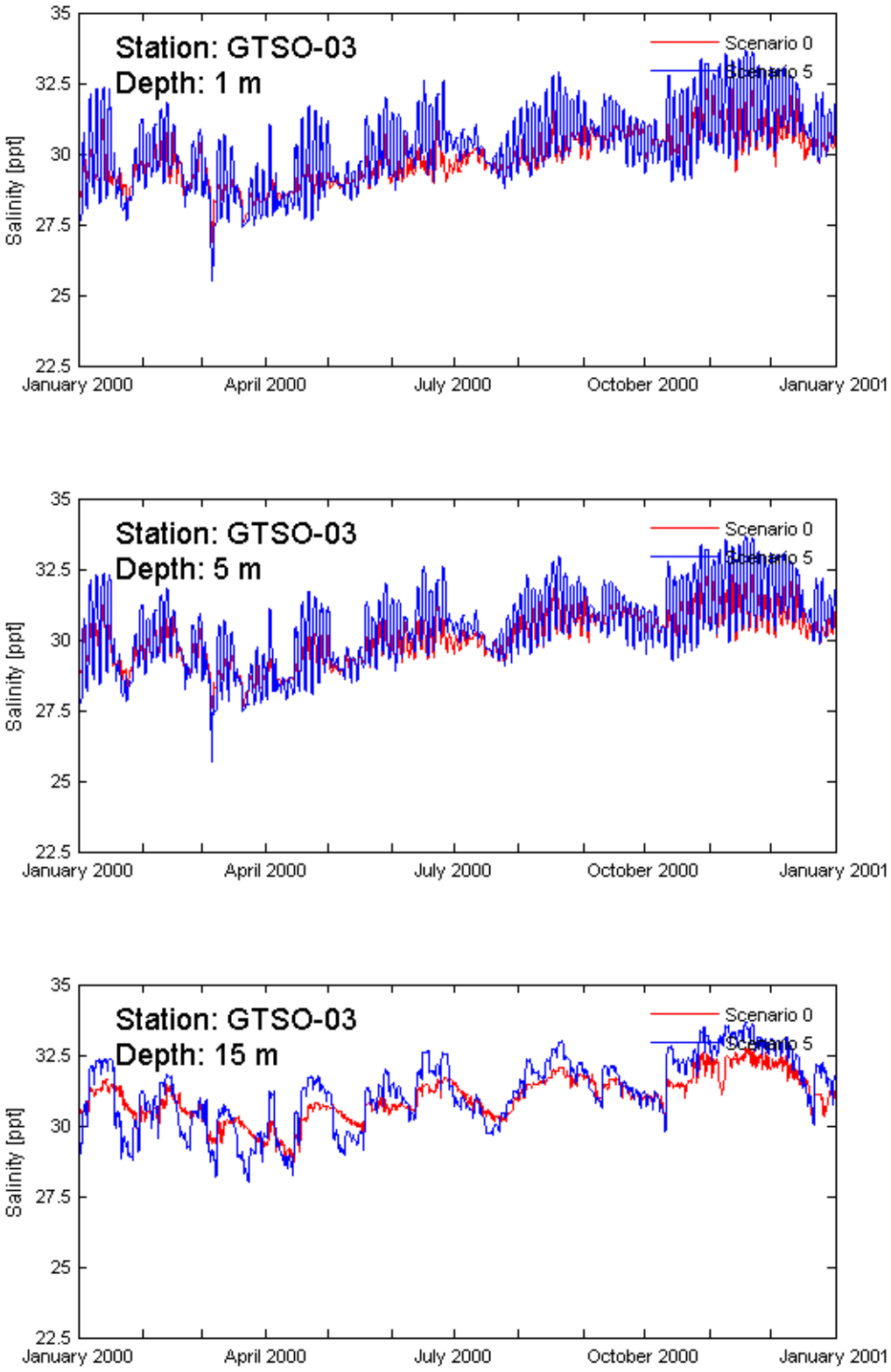
Scenario 5 (doorspoel_WO) representeert de situatie waarbij de Flakkeese Spuisluis in werking is met een daggemiddeld debiet van 65 $m^3/s$. Het zoutgehalte en de temperatuur in de Oosterschelde, en dus ook van het instromende water, zijn gebaseerd op een meetreeks van locatie Plaat van Oude Tonge. Een verlaging van 20 % is toegepast op het zoutgehalte. Het debiet door de Brouwerssluis is sterk verhoogd tot 500 $m^3/s$.

*Tijdreeksen*

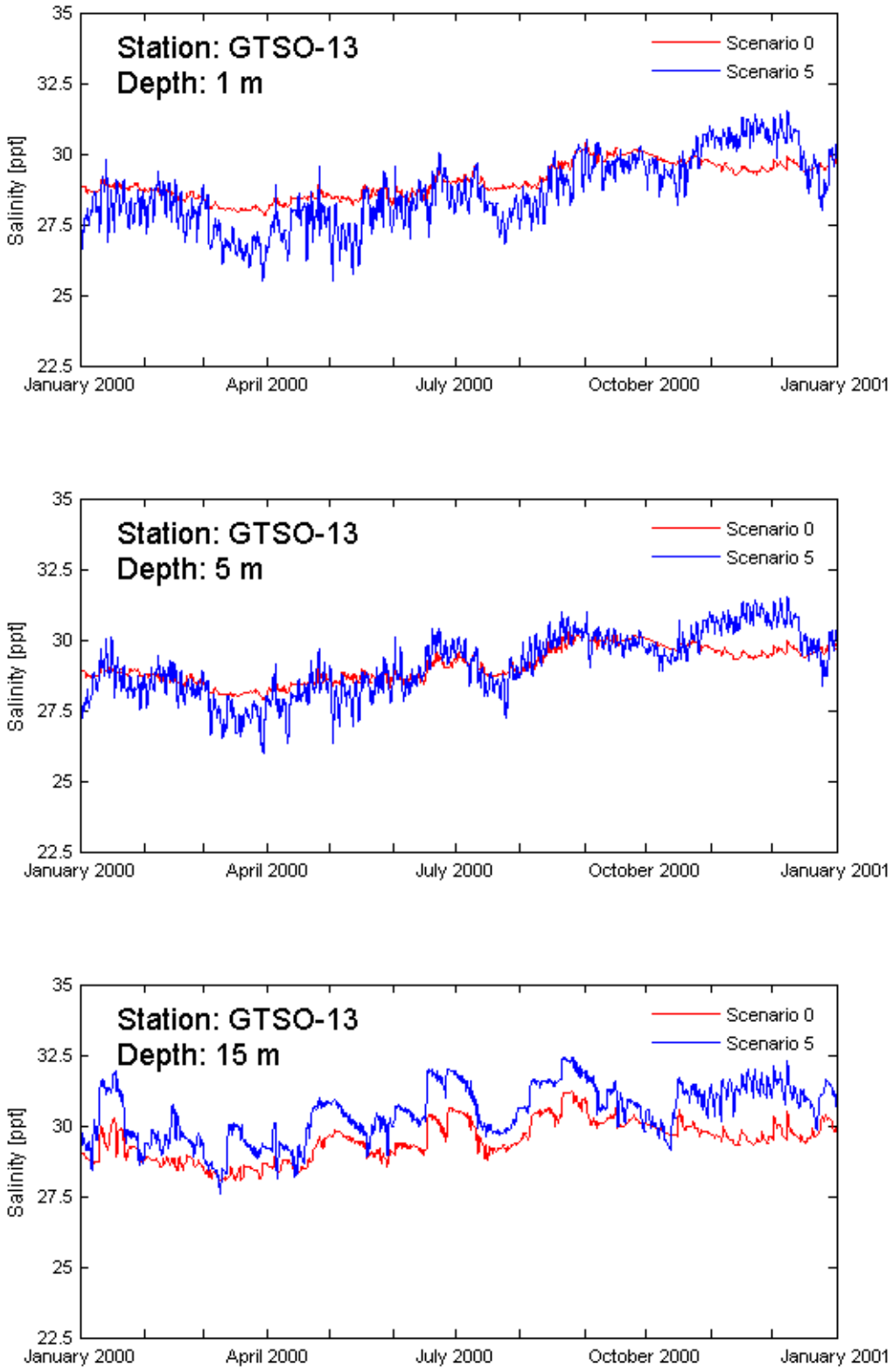
In Figuur 4.39 t/m 4.41 zijn tijdreeksen van het zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte getoond. Uit de gegevens van de getoonde en andere locaties blijkt dat de temporele variatie van het zoutgehalte in het Grevelingenmeer toeneemt. Het gemiddelde zoutgehalte in het

westen en het midden van het Grevelingenmeer blijft vrijwel gelijk. In het zuidoosten neemt het gemiddelde zoutgehalte af (ca. 2 ppt).

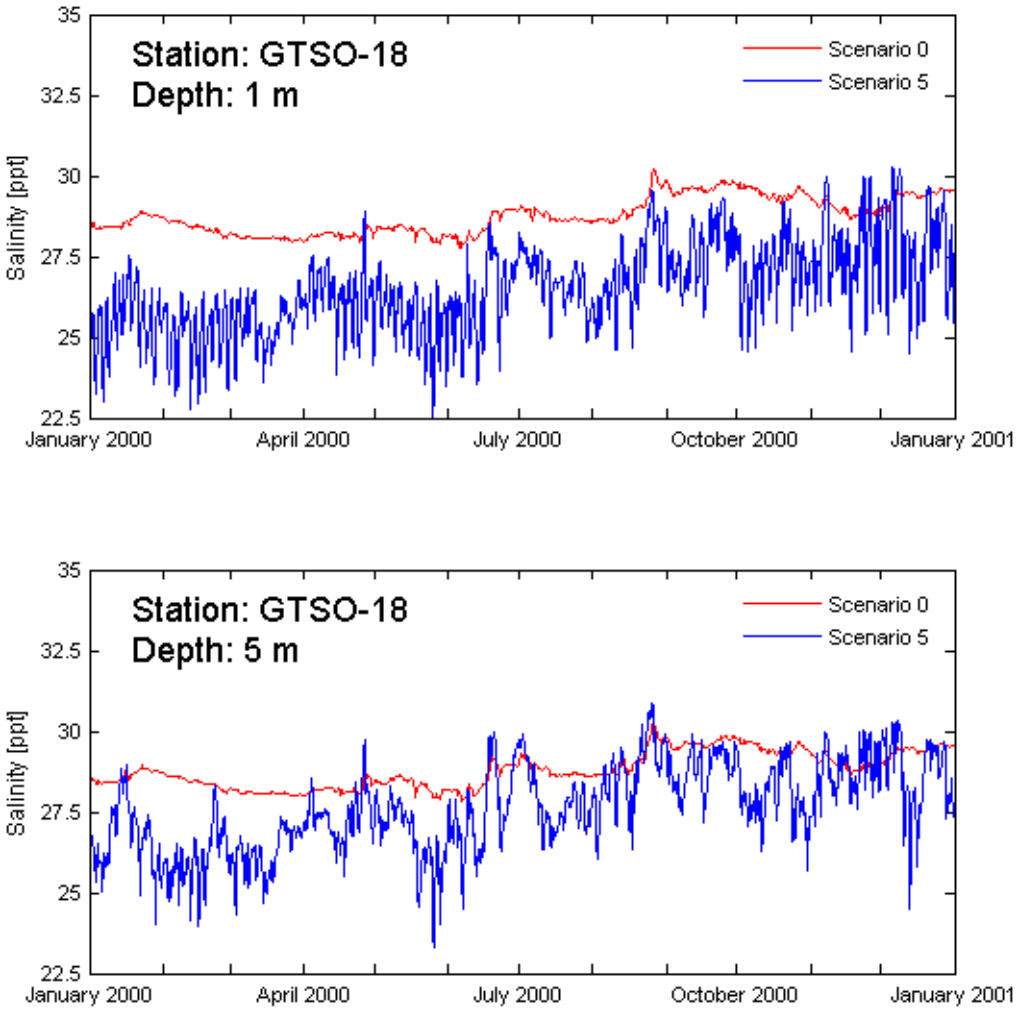
*Stratificatie*
In Figuur 4.42 zijn tijdreeksen van de maximale verschillen in dichtheid over de verticaal getoond, als maat voor de optredende stratificatie. Hieruit en uit plots op andere locaties blijkt dat de temporele variatie in de stratificatie toeneemt. Daarnaast neemt in het midden en het zuidoosten van het Grevelingenmeer de gemiddelde stratificatie fors toe (1 tot 2 ppt).



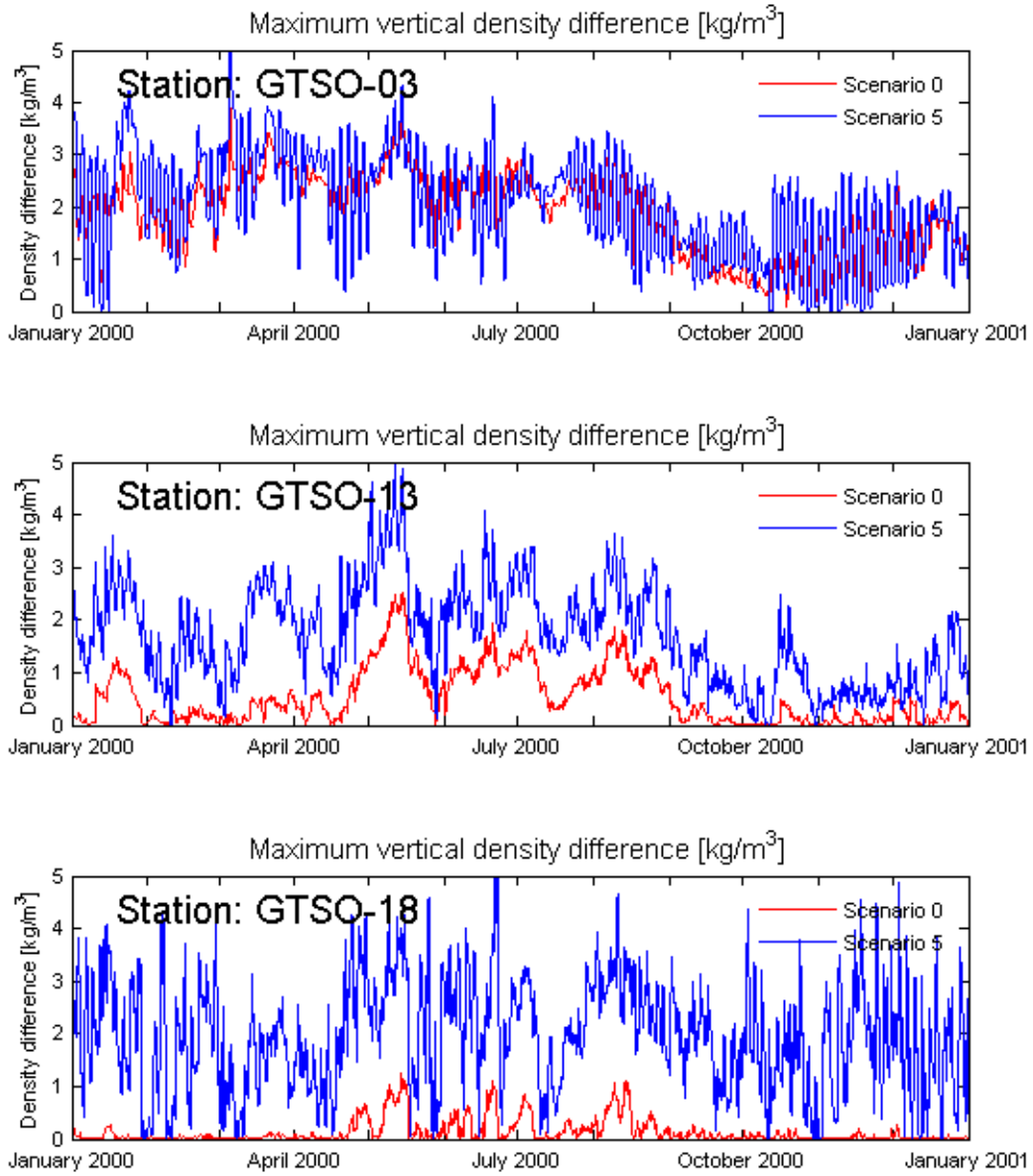

*Figuur 4.39: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-03 (blauwe lijn: Scenario 5; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.40: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m, 5 m en 15 m diepte op locatie GTSO-13 (blauwe lijn: Scenario 5; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.41: Tijdreeks van het berekende zoutgehalte op 1 m en 5 m diepte op locatie GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 5; rode lijn: Scenario 0).*




*Figuur 4.42: Tijdreeks van het maximale verschil in dichtheid over de vertikaal op locatie GTSO-03, GTSO-13en GTSO-18 (blauwe lijn: Scenario 5; rode lijn: Scenario 0).*

### 4.2.11 Overzicht van resultaten

In Tabel 4.2 t/m 4.4 wordt in kwantitatieve zin een overzicht gegeven van de resultaten van de scenario's (voor de locaties GTSO-03, GTSO-13 en GTSO-18). Dit wordt gedaan voor het zoutgehalte op 1 m diepte en het dichtheidsverschil over de verticaal, in termen van gemiddelde waarden en de 10 en 90 percentiel waarden.

*Tabel 4.2: Resultaten van de scenarioberekeningen in station GTSO-03 in termen van gemiddelde en 10 en 90 percentiel waarden van zoutgehalte en verticaal dichtheidsverschil.*

| | zoutgehalte (ppt) | | | verticaal dichtheidsverschil (kg/m$^3$) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Scenario | gemiddeld | 10 % | 90 % | gemiddeld | 10 % | 90 % |
| 0 | 29,8 | 28,7 | 30,9 | 1,9 | 0,8 | 2,8 |
| 1A | 29,9 | 28,7 | 31,0 | 1,9 | 0,8 | 2,8 |
| 1B | 29,1 | 28,2 | 30,0 | 2,0 | 0,9 | 2,9 |
| 2A | 30,0 | 28,9 | 31,1 | 1,8 | 0,8 | 2,6 |
| 2B | 28,5 | 27,3 | 29,7 | 2,7 | 1,5 | 3,7 |
| 3A | 29,1 | 28,5 | 29,8 | 1,7 | 0,8 | 2,5 |
| 3B | 25,9 | 25,1 | 26,9 | 3,1 | 1,8 | 4,2 |
| 3C | 28,4 | 27,6 | 29,3 | 2,0 | 0,9 | 2,9 |
| 4 | 30,4 | 29,0 | 31,6 | 1,6 | 0,6 | 2,5 |
| 5 | 30,3 | 28,4 | 32,2 | 1,9 | 0,5 | 3,2 |

*Tabel 4.3: Resultaten van de scenarioberekeningen in station GTSO-13 in termen van gemiddelde en 10 en 90 percentiel waarden van zoutgehalte en verticaal dichtheidsverschil.*

| | zoutgehalte (ppt) | | | verticaal dichtheidsverschil (kg/m$^3$) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Scenario | gemiddeld | 10 % | 90 % | gemiddeld | 10 % | 90 % |
| 0 | 29,0 | 28,2 | 29,9 | 0,6 | 0,0 | 1,3 |
| 1A | 29,1 | 28,3 | 30,0 | 0,6 | 0,0 | 1,3 |
| 1B | 28,3 | 27,7 | 29,1 | 0,6 | 0,0 | 1,2 |
| 2A | 29,4 | 28,8 | 30,1 | 0,5 | 0,0 | 1,0 |
| 2B | 27,3 | 26,3 | 28,4 | 1,4 | 0,3 | 2,4 |
| 3A | 28,8 | 28,4 | 29,3 | 0,3 | 0,0 | 0,8 |
| 3B | 25,1 | 24,4 | 25,9 | 1,2 | 0,2 | 2,1 |
| 3C | 27,9 | 27,3 | 28,7 | 0,5 | 0,0 | 1,0 |
| 4 | 29,7 | 28,8 | 30,6 | 0,5 | 0,0 | 1,1 |
| 5 | 28,7 | 27,0 | 30,5 | 1,7 | 0,6 | 2,9 |

*Tabel 4.4: Resultaten van de scenarioberekeningen in station GTSO-18 in termen van gemiddelde en 10 en 90 percentiel waarden van zoutgehalte en verticaal dichtheidsverschil.*

| | zoutgehalte (ppt) | | | verticaal dichtheidsverschil (kg/m$^3$) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Scenario | gemiddeld | 10 % | 90 % | gemiddeld | 10 % | 90 % |
| 0 | 28,8 | 28,1 | 29,6 | 0,1 | 0,0 | 0,5 |
| 1A | 28,9 | 28,2 | 29,7 | 0,2 | 0,0 | 0,5 |
| 1B | 28,1 | 27,6 | 28,8 | 0,1 | 0,0 | 0,4 |
| 2A | 29,4 | 29,1 | 29,8 | 0,2 | 0,0 | 0,4 |
| 2B | 25,9 | 24,9 | 27,0 | 1,2 | 0,2 | 2,3 |
| 3A | 29,0 | 28,7 | 29,4 | 0,3 | 0,0 | 0,6 |
| 3B | 24,4 | 24,0 | 24,9 | 0,6 | 0,0 | 1,4 |
| 3C | 27,9 | 27,2 | 28,6 | 0,3 | 0,0 | 0,8 |
| 4 | 29,5 | 28,7 | 30,4 | 0,1 | 0,0 | 0,4 |
| 5 | 26,5 | 24,8 | 28,3 | 2,0 | 0,6 | 3,2 |

Aan de hand van de bovenstaande tabellen, kan het volgende geconcludeerd worden met betrekking tot de resultaten van de hydrodynamische modelsimulaties:

- Het vergroten of verkleinen van de uitwisseling door de Brouwerssluis (Scenario 1A, 1B) heeft geen grote gevolgen op het zoutgehalte en mate van stratificatie in het Grevelingenmeer. De veranderingen in gemiddeld zoutgehalte blijven kleiner dan 1 ppt. Dit geldt zelfs voor een vergroting van het daggemiddelde Brouwerssluis debiet tot 500 $m^3/s$ (Scenario 5).

- Ook de inzet van de Flakkeese spuisluis, bij een gelijkblijvend zoutgehalte van de Oosterschelde (Scenario 2A, 3A, 3C en 4), heeft geen grote gevolgen op het zoutgehalte en mate van stratificatie in het Grevelingenmeer. Van deze scenario's geeft alleen Scenario 3A (doorspoelen van oost naar west) een lichte verlaging van de mate van stratificatie in het oosten van het Grevelingenmeer. In Scenario 3C (doorspoelen van oost naar west, met actuele waarden voor het zoutgehalte van de Oosterschelde) treedt een kleine verlaging van ca. 1 ppt op in het gemiddelde zoutgehalte van het Grevelingenmeer. In de andere gevallen zijn de veranderingen in zoutgehalte kleiner dan 1 ppt.

- Indien de Flakkeese spuisluis wordt ingezet bij een 20% lager zoutgehalte in de Oosterschelde (Scenario 2B, 3B en 5) zal ook het gemiddelde zoutgehalte in het Grevelingenmeer aanzienlijk dalen (met circa 4 ppt in Scenario 3B, doorspoelen van oost naar west). Alleen in Scenario 5, met een sterk verhoogd Brouwerssluis debiet, blijft de daling in zoutgehalte beperkt tot het oostelijk deel van het Grevelingenmeer. In alle drie de scenario's neemt de stratificatie (aanzienlijk) toe.

# 5 Waterkwaliteit en primaire productie

## 5.1 Denkkader

De ingebruikname van de Flakkeese spuisluis zal de waterkwaliteit en primaire productie op een aantal punten direct (kunnen) beïnvloeden:

1. Stratificatie kan wijzigen als water van verschillende zoutgehaltes in andere verhoudingen met elkaar mengen. Daarnaast kan temperatuurstratificatie beïnvloed worden door de dynamiek: hoe groter de dynamiek (stroomsnelheid), hoe geringer de kans op temperatuurstratificatie.
2. De nutriëntenconcentraties kunnen wijzigen als water van een andere samenstelling wordt aangevoerd. Als de Oosterschelde zoeter wordt door wijzigingen in het Volkerak-Zoommeer, zullen via de Flakkeese spuisluis meer nutriënten op het Grevelingenmeer gebracht worden.
3. Grotere debieten zorgen voor een grotere aanvoer van organisch materiaal vanaf de Noordzee of vanaf de Oosterschelde.

Indirecte beïnvloeding kan volgen doordat door de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis omstandigheden zijn veranderd. Mogelijke ontwikkelingen zijn bijvoorbeeld:

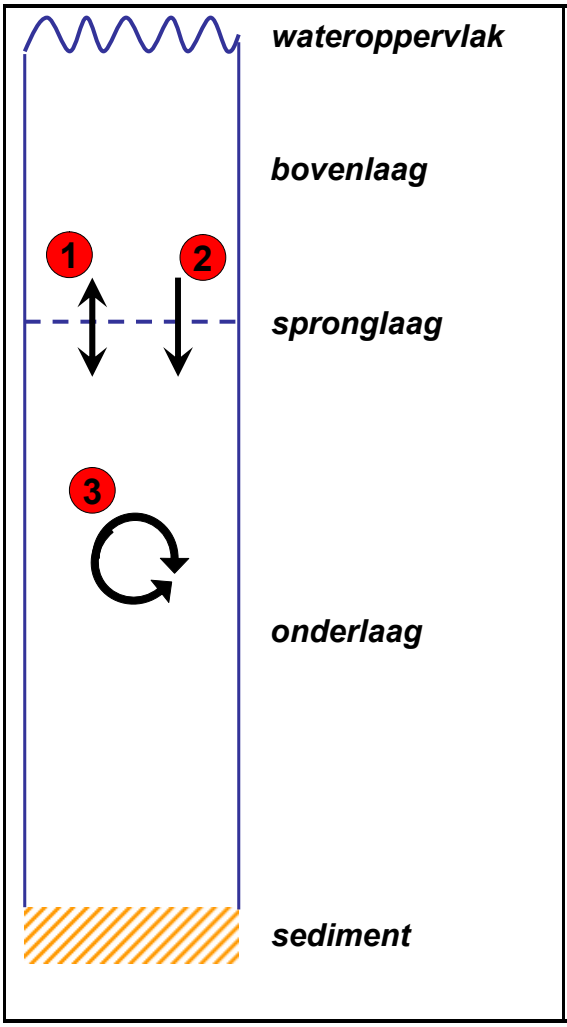
a. Meer nutriënten → meer primaire productie (in de voorjaarsbloei) → grotere flux van organisch materiaal naar de bodem → sneller zuurstofloosheid in een gestratificeerde situatie
b. Grotere belasting van organisch materiaal → grotere flux van organisch materiaal naar de bodem → sneller zuurstofloosheid in een gestratificeerde situatie
c. Meer stratificatie → intensievere algenbloei → grotere flux van organisch materiaal naar de bodem → sneller zuurstofloosheid in een gestratificeerde situatie
d. Meer stratificatie → minder aanvoer van zuurstof naar de onderlaag → sneller zuurstofloosheid
e. Minder stratificatie → meer aanvoer van zuurstof naar de onderlaag → minder snel zuurstofloosheid

Uit bovenstaande is af te leiden dat er drie cruciale parameters zijn die het risico op zuurstofloosheid in de waterkolom[1] bepalen: de mate van stratificatie, de flux van organisch materiaal naar de onderlaag en de duur voordat zuurstofloosheid wordt bereikt. In Figuur 5.1 wordt bovenstaande geschematiseerd weergegeven.

Overigens kan de flux van organisch materiaal gezien worden als een samengestelde term waar alle zuurstofvragende processen onder vallen. De zuurstofvraag vanuit de bodem zou hier bijvoorbeeld onder kunnen vallen.

[1] *Dit rapport besteedt geen aandacht aan de waterbodemkwaliteit. Zuurstofloze bodems komen vrij algemeen voor, maar kwantitatieve gegevens ontbreken (pers. comm. H. Haas, RIKZ Middelburg).*

Figuur 5.1 Schematische voorstelling van een gestratificeerde waterkolom, processen die relevant zijn voor zuurstofbeperking in de onderlaag en aannames voor eenvoudig rekenmodel




Aannames

- Stratificatie treedt instantaan op door een verlaging van de dispersieve uitwisseling over de sprong laag.
- Zowel de bovenlaag als de onderlaag zijn goed gemengd.
- De bovenlaag is altijd verzadigd met zuurstof. Bij 15 °C en 30 ppt saliniteit is de verzadigingswaarde 8,3 mg/l.
- Bij het inzetten van de stratificatie is de zuurstofconcentratie in de onderlaag ook verzadigd.
- De dispersieve zuurstoftoevoer naar de onderlaag (1) wordt bepaald door de dispersiecoëfficiënt over de sprong laag en het concentratieverschil tussen de boven- en onderlaag. De dispersielengte is 5 m.
- De flux van organisch materiaal naar de onderlaag (2) is constant. Bij het inzetten van de stratificatie is geen organisch materiaal in de onderlaag aanwezig.
- De totale flux van organisch materiaal naar de onderlaag leidt tot een instantane zuurstofvraag (3) in de onderlaag.

De in Figuur 5.1 weergegeven schematische voorstelling en aannames leiden tot de volgende zuurstofvraag in de onderlaag.

$$\frac{d\,DO_{onderlaag}}{d\,t} = \text{-}afbraak + dispersieve\,zuurstoftoevoer$$

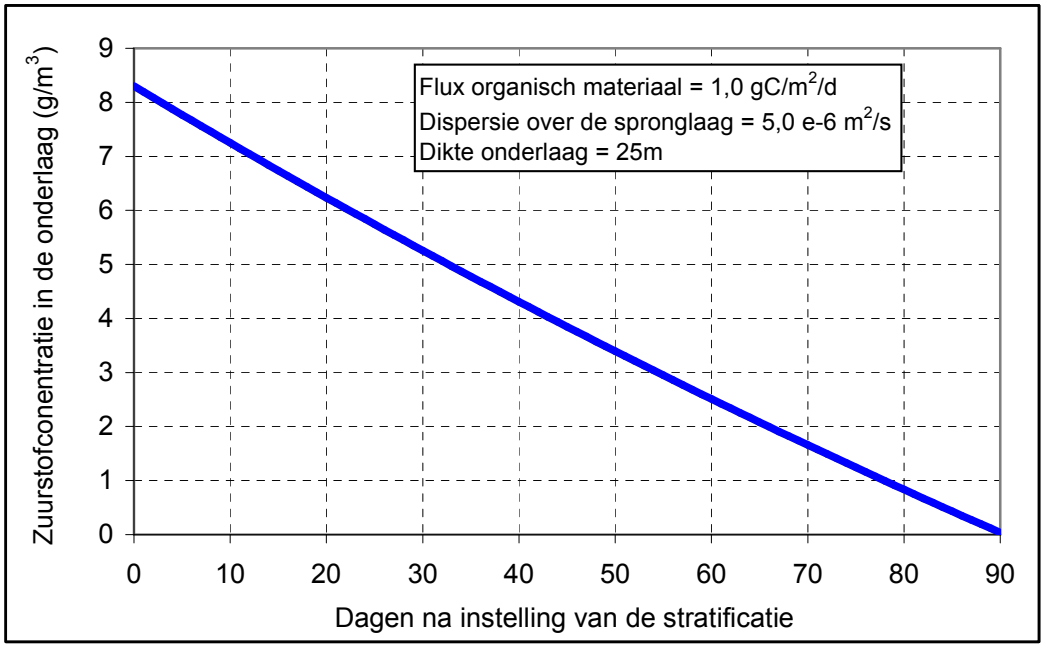
$$\frac{d\,DO_{onderlaag}}{d\,t} = \text{-}Rc \times \frac{Org\text{-}C_{flux} \times \frac{32}{12}}{H_{onderlaag}} + D \times 86400 \times \frac{\left(DO_{bovenlaag} - DO_{onderlaag}\right)}{L} \times \frac{1}{H_{onderlaag}}$$

met

| | | |
|---|---|---|
| $DO_{onderlaag}$ | = | Zuurstofconcentratie in de onderlaag (g/m$^3$) |
| $DO_{bovenlaag}$ | = | Zuurstofconcentratie in de bovenlaag (g/m$^3$) |
| $Rc$ | = | Afbraaksnelheid voor organisch materiaal (1/d) |
| $Org\text{-}C_{flux}$ | = | Flux van organisch materiaal door de sprong laag (gC/m$^2$/d) |
| $H_{onderlaag}$ | = | Dikte van de onderlaag (m) |
| $D$ | = | Verticale diffusiecoëfficiënt (m$^2$/s) |
| $L$ | = | Dispersielengte (m) |

De constanten 32/12 en 86400 zijn conversiefactoren tussen respectievelijk $gO_2$:gC en s/d.

Met deze massabalans is de zuurstofconcentratie in de onderlaag te berekenen als functie van de drie eerder genoemde cruciale parameters. Figuur 5.2 geeft een voorbeeld voor




Figuur 5.2 Afname van de zuurstofconcentratie in de onderlaag als gevolg van stratificatie en aanvoer van organisch materiaal

Tabel 5.1 geeft voor een aantal combinaties aan hoe lang het duurt voordat de zuurstofconcentratie minder dan 1 g/m$^3$ wordt. Uit de tabel blijkt dat zuurstofloosheid eerder optreedt bij:

- een grotere flux van organisch materiaal
- een kleinere onderlaag
- een kleinere dispersiecoëfficiënt

Tabel 5.1 Aantal dagen na instelling van stratificatie waarop zuurstofloosheid optreedt als functie van dispersie, organisch-koolstofflux en dikte van de onderlaag

| Dispersie (m$^2$/s) | Organisch Koolstof flux door de spronglaag (gC/m$^2$/d) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.5 | | | | 1.0 | | | | 1.5 | | | | 2.0 | | | | 2.5 | | | |
| | Dikte onderlaag (m) | | | | Dikte onderlaag (m) | | | | Dikte onderlaag (m) | | | | Dikte onderlaag (m) | | | | Dikte onderlaag (m) | | | |
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 10 | 15 | 20 | 25 | 10 | 15 | 20 | 25 | 10 | 15 | 20 | 25 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 1,0 e-4 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 |
| 5,0 e-5 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | >180 | 33 | 50 | 67 | 84 |
| 1,0 e-5 | 168 | >180 | >180 | >180 | 37 | 56 | 74 | 93 | 22 | 33 | 44 | 55 | 16 | 24 | 32 | 39 | 13 | 19 | 25 | 31 |
| 5,0 e-6 | 74 | 111 | 148 | >180 | 32 | 47 | 63 | 78 | 20 | 30 | 40 | 50 | 15 | 22 | 30 | 37 | 12 | 18 | 23 | 29 |
| 1,0 e-6 | 58 | 87 | 115 | 144 | 29 | 43 | 57 | 71 | 19 | 28 | 38 | 47 | 14 | 21 | 28 | 35 | 12 | 17 | 23 | 28 |

In de volgende paragrafen leiden we af hoe de drie parameters veranderen als gevolg van de beheersvarianten. De dispersie koppelen we aan het dichtheidsverschil tussen de boven- en onderlaag. Deze relatie is echter verre van eenvoudig. Een dichtheidsverschil van 1,5 kg/m$^3$ komt overeen met een dispersie van circa 1,0 × 10$^{-5}$ m$^2$/s.

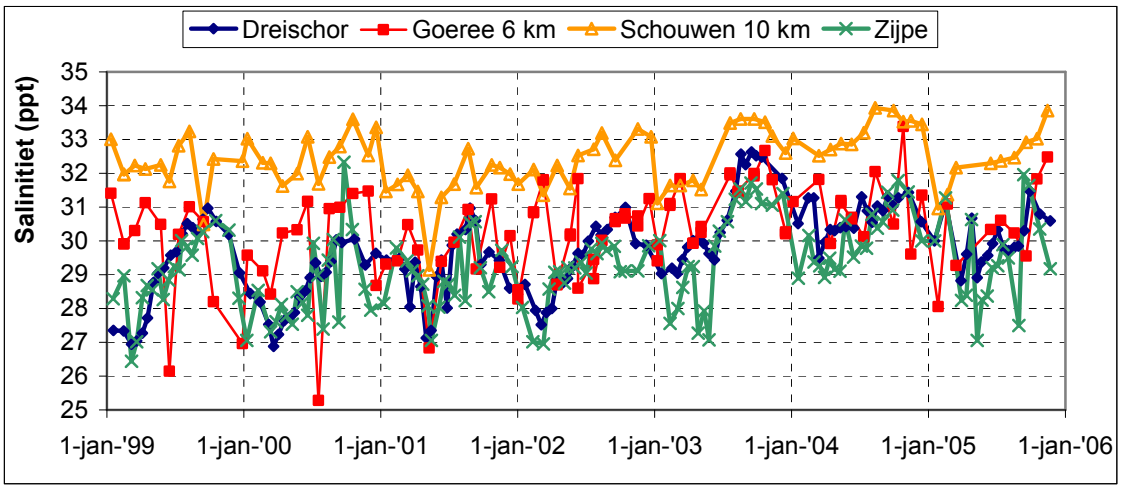
## 5.2 De huidige situatie

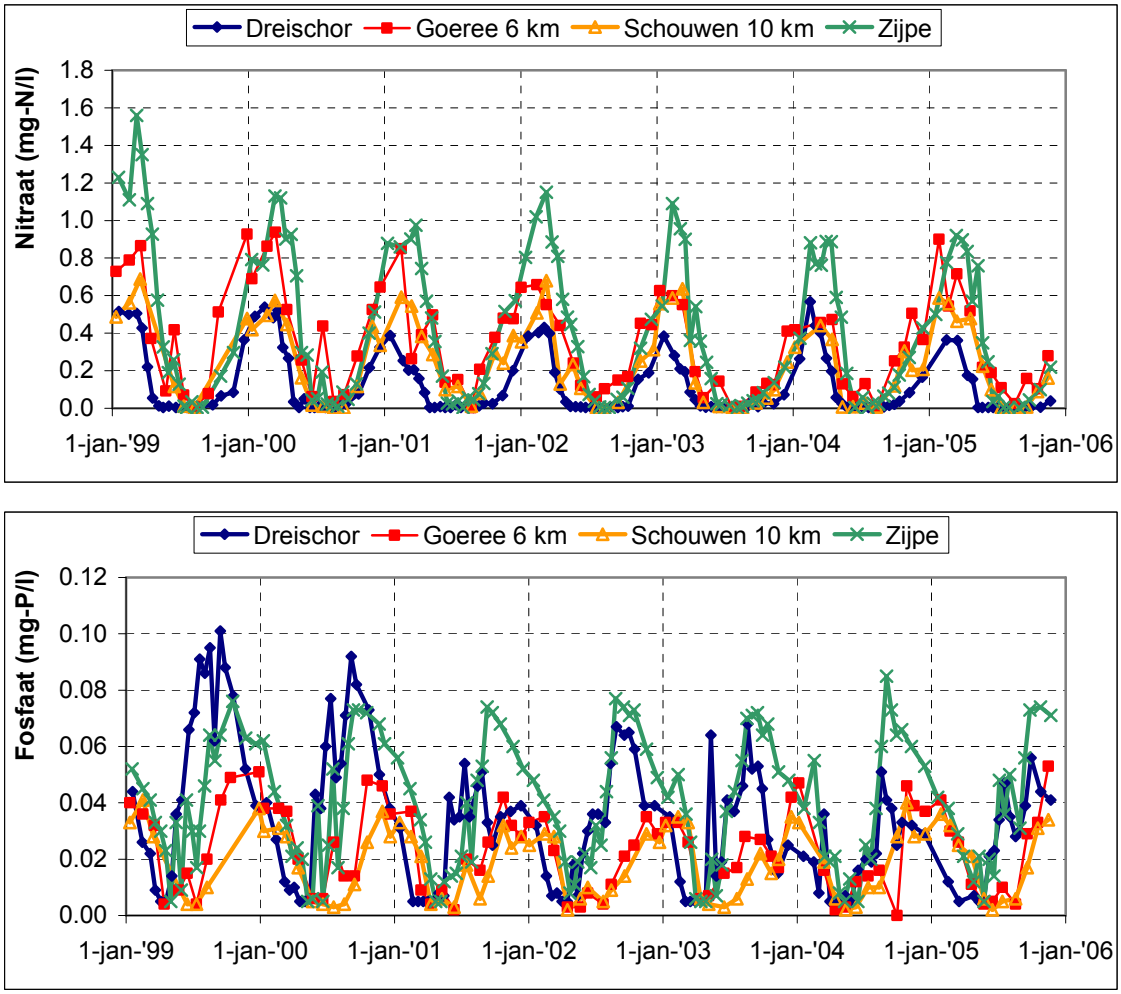
### 5.2.1 Nutriënten

Figuur 5.3 en Tabel tonen de gemeten saliniteit, nitraatconcentratie en ortho-fosfaatconcentratie op vier locaties. De locaties 'Goeree 6 km' en 'Schouwen 10 km' beschouwen wij als representatief voor de waterkwaliteit van het Noordzeewater dat via de Brouwerssluis in het Grevelingenmeer komt. De locatie 'Zijpe' beschouwen wij als representatief voor de waterkwaliteit van het Oosterscheldewater dat via de Flakkeese Spuisluis het Grevelingenmeer bereikt. Tenslotte ligt de locatie 'Dreischor' centraal in het Grevelingenmeer.

Tabel 5.2 Gemiddelde concentratie en standaarddeviatie van saliniteit, nitraat en ortho-fosfaat in de Noordzee (Goeree 6 km, Schouwen 10 km), in de Oosterschelde (Zijpe) en in het Grevelingenmeer (Dreischor) – data van www.waterbase.nl

| | Saliniteit (ppt) | Nitraat (mg-N/l) | Ortho-fosfaaf (mg-P/l) |
|---|---|---|---|
| Dreischor | 29,7 ± 1,3 | 0,11 ± 0,16 | 0,033 ± 0,024 |
| Goeree 6 km | 30,3 ± 1,3 | 0,35 ± 0,26 | 0,023 ± 0,015 |
| Schouwen 10 km | 32,4 ± 0,9 | 0,24 ± 0,22 | 0,019 ± 0,012 |
| Zijpe | 29,3 ± 1,2 | 0,39 ± 0,38 | 0,039 ± 0,022 |






Figuur 5.3 Saliniteit, nitraat en ortho-fosfaat in de Noordzee (Goeree 6 km, Schouwen 10 km), in de Oosterschelde (Zijpe) en in het Grevelingenmeer (Dreischor) – data van www.waterbase.nl

Uit Figuur 5.3 blijkt dat de saliniteit in het Grevelingenmeer overeenkomt met de saliniteit in de Oosterschelde en de locatie Goeree 6 km. De locatie Schouwen 10 km is 2 tot 5 ppt zouter.

De nitraatconcentratie in het Grevelingenmeer is vrijwel altijd lager dan in de Oosterschelde en in de Noordzee. Ortho-fosfaat laat een gemengd beeld zien. De concentratie in het Grevelingenmeer is soms hoger en soms lager dan in de Noordzee en de Oosterschelde.

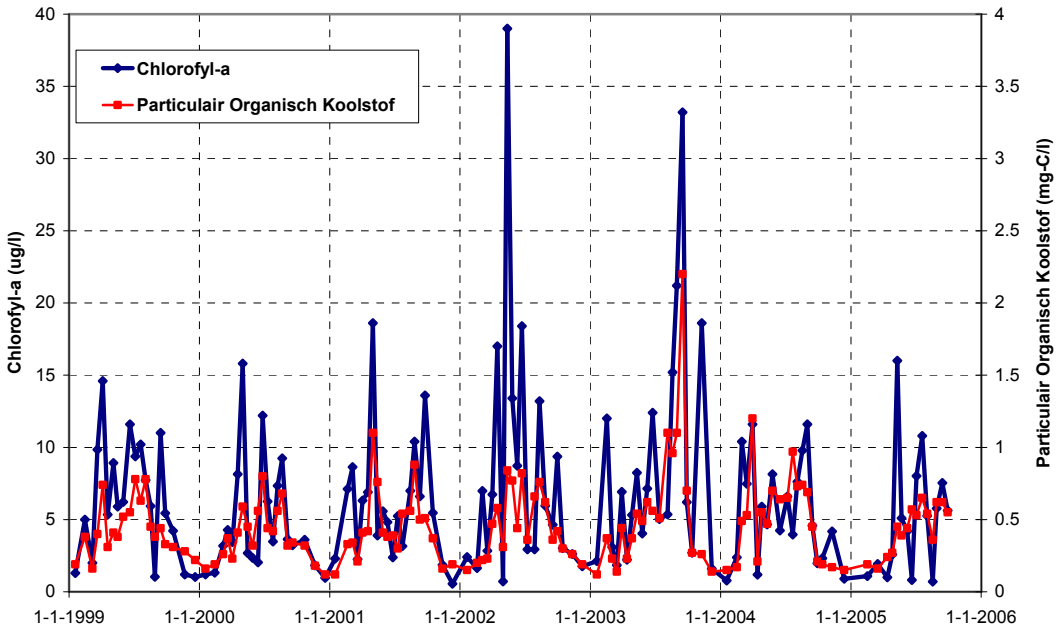
### 5.2.2 Organisch materiaal en chlorofyl

Figuur 5.4 laat zien dat er in de zomer circa 10 µg/l chlorofyl-a en circa 0,5 mg-C/l aanwezig is in het Grevelingenmeer. Dit komt neer op een totaal organisch-koolstofconcentratie van circa 1 mg-C/l. De locatie Dreischor ligt centraal in het Grevelingenmeer. Mogelijk dat organisch materiaal dat via de Brouwerssluis binnenkomt, in deze metingen onderschat wordt.

De flux van organisch materiaal komt overeen met de concentratie vermenigvuldigd met een valsnelheid. Aangezien sommige algensoorten in staat zijn om hun drijfvermogen te

reguleren varieert hun valsnelheid van 0 tot enkele meters per dag. Voor dood organisch materiaal is de valsnelheid afhankelijk van de deeltjesgrootte. In modelstudies varieert de valsnelheid tussen 0,5 en enkele meters per dag.

Op basis van deze kentallen is het aannemelijk dat de flux van organisch materiaal door de spronglaag in de orde van 0,5 tot 2,5 $gC/m^2/d$ is, zoals aangenomen is in Tabel 5.1. Als we de zuurstofvraag van nitrificatie meenemen en vertalen in equivalenten organisch materiaal, is het ook aannemelijk dat de hogere waarden gedurende bepaalde perioden van het jaar gehaald worden.

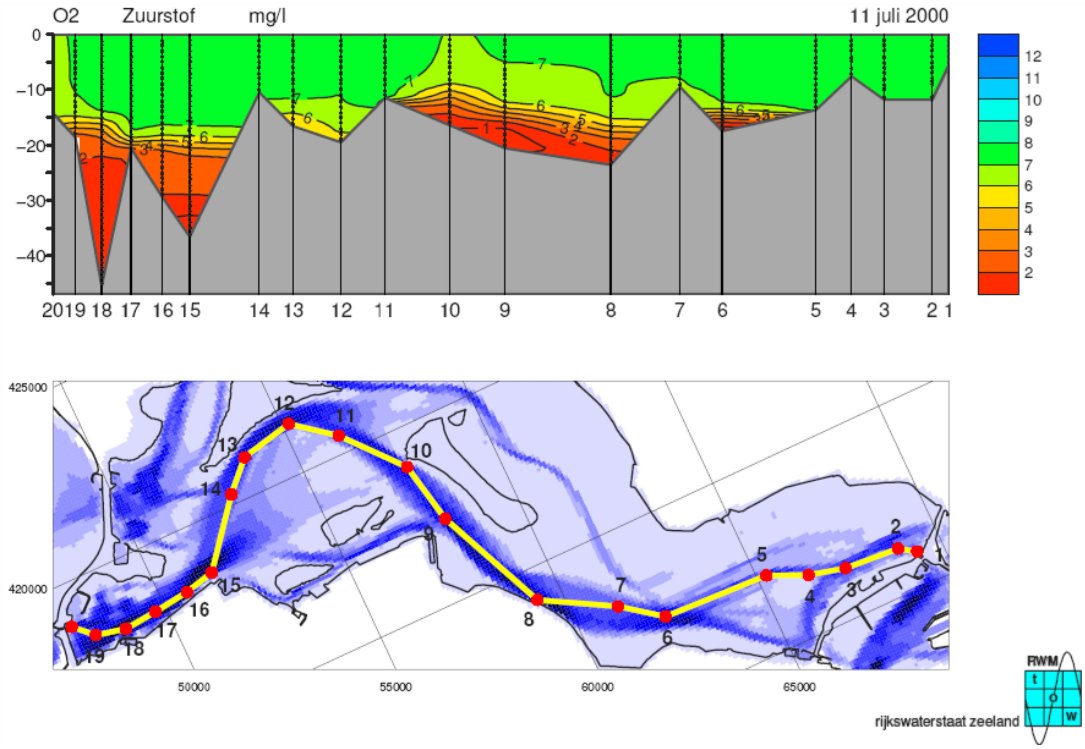



Figuur 5.4 Gemeten Chlorofyl-a en Particulair Organisch Koolstof in locatie Dreischor (www.waterbase.nl)

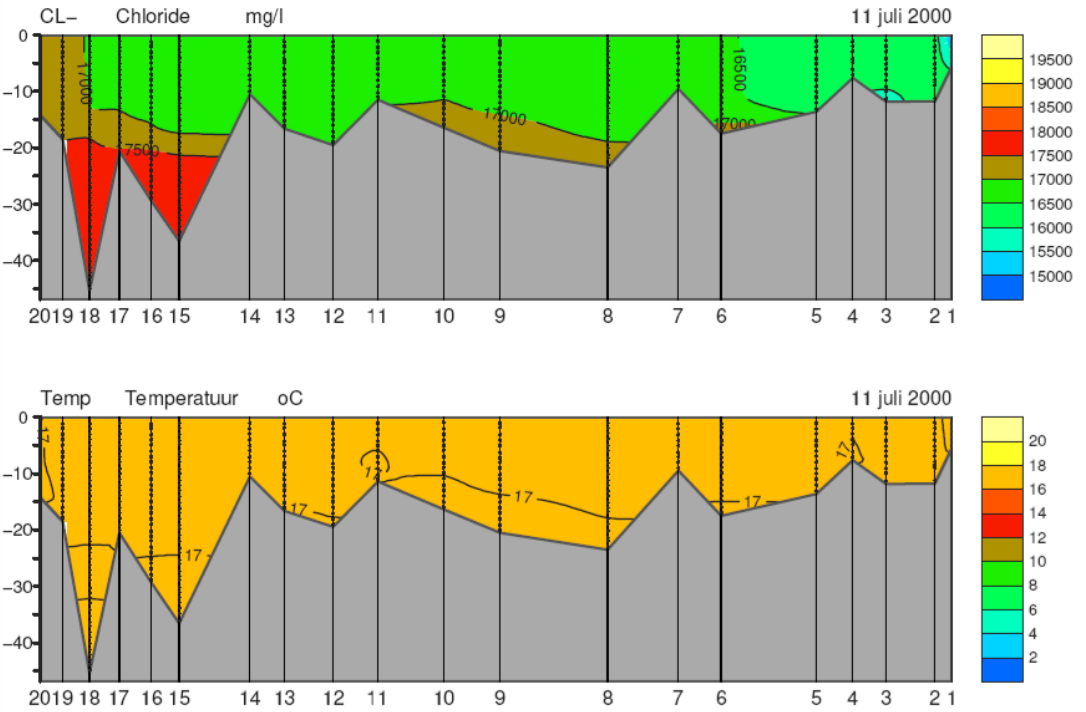
### 5.2.3 Stratificatie en zuurstofloosheid

Het meest recente bekkenrapport Grevelingen geeft een uitgebreid overzicht van de situatie tot 2002 (RIKZ, 2002). Vooral de periode 1999-2001 is van belang omdat toen de Brouwerssluis vrijwel het gehele jaar gebruikt werd voor uitwisseling. Wij vergelijken de beheersvarianten dan ook met deze situatie.

Periodiek wordt op een twintigtal locaties in het Grevelingenmeer verticale profielen van zoutgehalte, temperatuur en zuurstofconcentratie gemeten. In alle jaren in de periode 1999-2005 treedt op enig moment zuurstofloosheid in de diepere delen van het Grevelingenmeer op (zie dwarsprofielen GTSO op de bijgeleverde CD). Ter illustratie staat in Figuur 5.5 en Figuur 5.6 het langsprofiel op 11 juli 2000 waarin een groot deel van de geul een lage zuurstofconcentratie laat zien. Opvallend is dat er slechts sprake is van een zwakke stratificatie, aangezien de temperatuur nagenoeg uniform is en de chlorideconcentratie 1 tot 2 g/l. Dit komt overeen met een dichtheidsverschil tussen boven en onderlaag van maximaal 1,5 $kg/m^3$.




Figuur 5.5 Langsprofiel van de zuurstofconcentratie op 11 juli 2000 (geleverd door HMCZ)




Figuur 5.6 Langsprofiel van chlorine en temperatuur op 11 juli 2000 (geleverd door HMCZ)

## 5.3 Effect van beheersvarianten

### 5.3.1 Nutriënten

In mariene en estuariene systemen is de nutriëntenconcentratie vaak omgekeerd evenredig met het zoutgehalte, omdat rivier- en polderwater meer nutriënten bevatten dan zeewater. Vooral in de winter als primaire productie en denitrificatie nagenoeg stil liggen, zal deze relatie opgang doen. Uit Figuur 5.3 blijkt echter dat dit voor de nitraatconcentratie in het Grevelingenmeer niet opgaat. De nitraatconcentratie is meestal lager dan in de Noordzee en de Oosterschelde, terwijl het zoutgehalte vergelijkbaar of zelfs lager is. Omdat ortho-fosfaat geen eenduidig patroon laat zien, laten we ortho-fosfaat in deze analyse buiten beschouwing. Aangezien het Grevelingenmeer stikstof-gelimiteerd is (de nitraatconcentratie is maandenlang beneden de detectielimiet), lijkt dat voor deze kwalitatieve analyse toelaatbaar.

Een grotere uitwisseling met de Noordzee en/of de Oosterschelde zal betekenen dat de nitraatconcentratie in het Grevelingenmeer meer gaat lijken op de nitraatconcentratie in de Noordzee en/of de Oosterschelde. Dit zou dus neerkomen op een hogere nitraatconcentratie in het Grevelingenmeer.

In de beheersvarianten met een minder zoute Oosterschelde zal waarschijnlijk de nitraatconcentratie ter hoogte van de Flakkeese Spuisluis toenemen, omdat dan met de Rijnafvoer die via het Volkerak-Zoommeer naar de Oosterschelde stroomt, nutriënten aangevoerd worden. Aangezien Rijnwater een hogere nitraatconcentratie heeft (jaargemiddeld 3 à 4 mg-N/l) dan het huidige Grevelingen (winterconcentratie circa 0,4 mg-N/l), betekent een grotere bijdrage van Rijnwater een aanzienlijk toename van de nitraatconcentratie in het Grevelingenmeer. Een rekenvoorbeeld: als de fractie Rijnwater 5% toeneemt, daalt het zoutgehalte van 29 naar 27,3 ppt. De nitraatconcentratie stijgt tegelijkertijd van 0,4 mg-N/l naar 0,55 à 0,6 mg-N/l, ofwel een toename van 40% tot 50%.

Op basis van de grootte van de uitwisseling met de Noordzee en/of de Oosterschelde en het zoutgehalte op de Oosterschelde verwachten wij de effecten op nutriënten ten opzichte van de huidige situatie (Scenario 0) zoals weergegeven in Tabel 5.3.

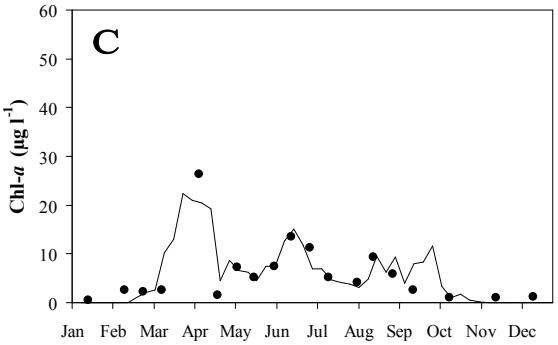
Tabel 5.3 Kwalitatieve beoordeling van het effect van de beheersvarianten op de beschikbaarheid van nitraat

| | Uitwisseling met de Noordzee en/of Oosterschelde ten opzichte van Scenario 0 | Zoutgehalte op de Oosterschelde | Effect op nitraat |
|---|---|---|---|
| Brouwerssluis 125 $m^3/s$ | referentie | referentie | |
| Brouwerssluis 135 $m^3/s$ | iets meer | onveranderd | iets grotere beschikbaarheid |
| Brouwerssluis 75 $m^3/s$ | aanzienlijk minder | onveranderd | lagere beschikbaarheid |
| Uitwissel max | meer | onveranderd | grotere beschikbaarheid |

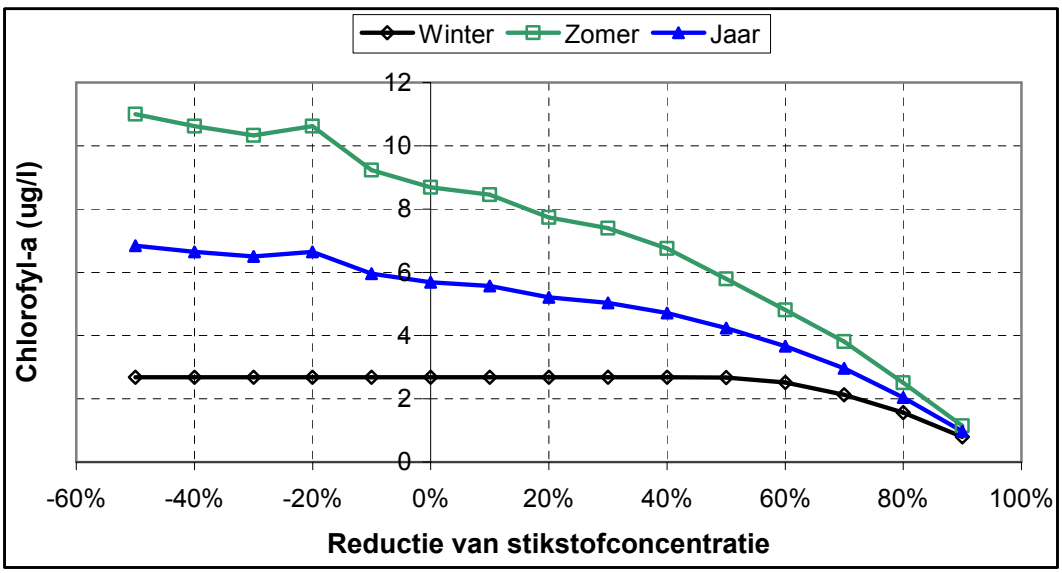
| | | | |
|---|---|---|---|
| Uitwissel max met lager zoutgehalte op de Oosterschelde | meer | lager | aanzienlijk grotere beschikbaarheid |
| Doorspoel oost -west | meer | onveranderd | grotere beschikbaarheid |
| Doorspoel oost-west met gemeten zoutgehalte op de Oosterschelde | | | |
| Doorspoel oost-west met lager zoutgehalte op de Oosterschelde | meer | lager | aanzienlijk grotere beschikbaarheid |
| Doorspoel west-oost | meer | onveranderd | grotere beschikbaarheid |
| Brouwerssluis 500 $m^3/s$, Flakkeese spuisluis 65 $m^3/s$ en lager zoutgehalte op de Oosterschelde | veel meer | lager | grotere beschikbaarheid |

### 5.3.2 Organisch materiaal en chlorofyl

Los en Wijsman (2006) hebben het primaire productie model BLOOM toegepast als screening tool op mariene en estuariene systemen waaronder het Grevelingenmeer. Het model voorspelt op basis van gemeten nutriëntconcentraties de hoeveelheid chlorofyl en de biomassa. Figuur 5.7 laat zien dat de voorspellende waarde goed is. Vervolgens is het model toegepast om – in het kader van de Kader Richtlijn Water – het effect van nutriëntreducties door te rekenen. In het kader van deze studie is ook gerekend met een toename. Deze resultaten zijn samengevat in Figuur 5.8.




Figuur 5.7 Gemodelleerde (lijn) en gemeten (punten) chlorofyl-a concentratie in locatie Dreischor voor 1998 (Los en Wijsman, 2006)



Figuur 5.8 Chlorofyl-a concentratie (in µg/l) als functie van de reductie van de stikstofconcentratie (naar Los en Wijsman, 2006)

De verwachte toename van de stikstofconcentratie leidt tot een toename van de chlorofylconcentratie (negatieve reductie in Figuur 5.8). De toename blijft relatief beperkt (maximaal 25%), omdat lichtlimitatie verdere primaire productie afremt.

Tussen de beheersscenario's is de flux van organisch materiaal gekoppeld aan de primaire productie die weer aan de nutriëntenbeschikbaarheid is gekoppeld. Met name tijdens de voorjaarsbloei zal een grotere beschikbaarheid van nutriënten leiden tot meer primaire productie en dus tot een grotere flux van organisch materiaal naar de onderlaag. Voor de organisch-koolstofflux geldt derhalve dezelfde tabel als voor nutriënten (Tabel 5.3), waarbij een grotere beschikbaarheid van nitraat overeenkomt met een grotere flux van organisch materiaal.

### 5.3.3 Mate van stratificatie

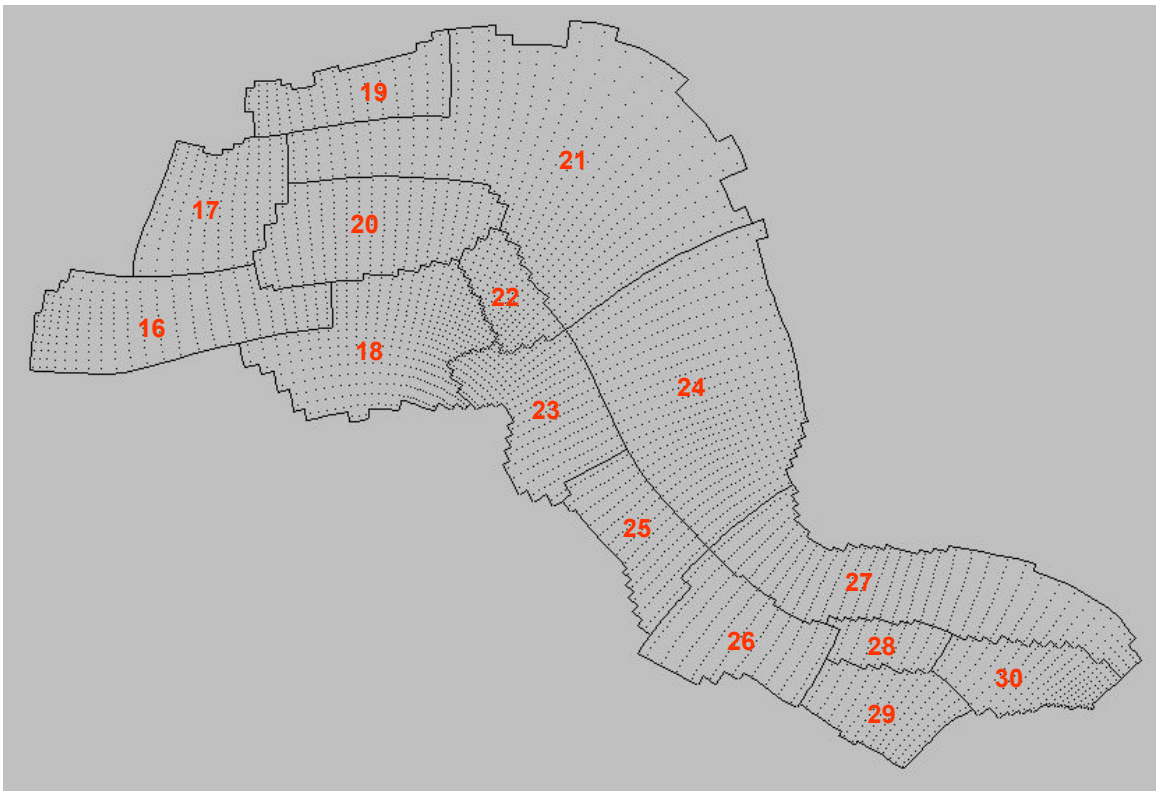
In het vorige hoofdstuk is per scenario het dichtheidsverschil tussen de bovenlaag en de onderlaag getoond. Eerder hebben we geconcludeerd dat een dichtheidsverschil van 1,5 kg/m$^3$ voldoende kan zijn voor stratificatie. Als het dichtheidsverschil in een beheersvariant groter is dan in de huidige situatie (Scenario 0), neemt de mate van stratificatie toe. Aangezien ook in de huidige situatie al zuurstofloosheid voorkomt, zal een grotere mate van stratificatie inhouden dat het risico op zuurstofloosheid toeneemt.

Tabel 5.4 Beoordeling van het effect van de beheersscenario's op de mate van stratificatie

| | verticaal dichtheidsverschil (kg/m$^3$ - Tabel 4.2, 4.3 en 4.4) | | | Mate van stratificatie |
|---|---|---|---|---|
| | West | Centraal | Oost | |
| Brouwerssluis 125 m$^3$/s | 1,9 | 0,6 | 0,1 | referentie |
| Brouwerssluis 135 m$^3$/s | 1,9 | 0,6 | 0,2 | nagenoeg onveranderd |
| Brouwerssluis 75 m$^3$/s | 2,0 | 0,6 | 0,1 | nagenoeg onveranderd |
| Uitwissel max | 1,8 | 0,5 | 0,2 | iets minder |
| Uitwissel max met lager zoutgehalte op de Oosterschelde | 2,7 | 1,4 | 1,2 | aanzienlijk meer |
| Doorspoel oost -west | 1,7 | 0,3 | 0,3 | soms meer, soms minder |
| Doorspoel oost-west met gemeten zoutgehalte op de Oosterschelde | | | | |
| Doorspoel oost-west met lager zoutgehalte op de Oosterschelde | 3,1 | 1,2 | 0,6 | meer |
| Doorspoel west-oost | 1,6 | 0,5 | 0,1 | iets minder |
| Brouwerssluis 500 m$^3$/s, Flakkeese spuisluis 65 m$^3$/s en lager zoutgehalte op de Oosterschelde | 1,9 | 1,7 | 2,0 | meer |

### 5.3.4 Verversing/verblijftijd

De verversing of verblijftijd in de diepere delen van het Grevelingenmeer is afgeleid uit de uitgevoerde hydrodynamische berekeningen. Hiervoor is het meer in 15 horizontale vakken verdeeld en in een bovenlaag en een onderlaag. Figuur 5.9 toont de vakverdeling in de onderlaag (genummerd van 16 tot 30).




Figuur 5.9 Vakverdeling in de onderlaag ten behoeve van vergelijking van verblijftijden

Uit de hydrodynamische berekening is voor iedere 6 uur bekend wat de in- en uitgaande debieten per vak zijn. In vak 16 kan bijvoorbeeld water lateraal vanuit de vakken 17, 18 en 20 instromen, verticaal vanuit de bovenlaag (vak 1) en via de lozing van de Brouwerssluis. Tevens is het volume van de vakken bekend. Per 6 uur is de verblijftijd (s) berekend door het volume van de onderlaag ($m^3$) te delen door het debiet dat het betreffende vak instroomt ($m^3/s$). Voor een jaar levert dit dus een reeks van (4×365=) 1460 ‘verblijftijden’.

Voor ieder van de getoonde vakken is de mediane verblijftijd bepaald voor zowel advectieve als dispersieve transporten. Advectief transport kan beschouwd worden als een maat voor de laterale instroming. (Verticaal) dispersief transport kan beschouwd worden als representatief voor de mate van stratificatie. De verblijftijd is berekend voor diverse diktes van de bovenlaag, ofwel voor verschillende dieptes van de spronglaag.

Tabel 5.5 en Tabel 5.6 tonen de verandering van de verblijftijd in de beheersvarianten ten opzichte van de huidige situatie voor respectievelijk advectief en dispersief transport. De verblijftijd van de huidige situatie is genormeerd op 1,0. Een waarde hoger dan 1,0 geeft aan dat de verblijftijd in de onderlaag toeneemt (verversing neemt af); een waarde lager dan 1,0 dat de verblijftijd in de onderlaag afneemt (verversing neemt toe).

Tabel 5.5 Relatieve verblijftijd ***in de onderlaag*** op basis van advectief transport voor de verschillende beheersscenario's ten opzichte van de Scenario 0 – groene arcering: verblijftijd neemt meer dan 5% toe ten opzichte van Scenario 0; rode arcering: verblijftijd neemt meer dan 5% af ten opzichte van Scenario 0

| diepte sprong-laag (m NAP) | **Scenario 0** | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | vak 16 | vak 17 | vak 18 | vak 19 | vak 20 | vak 21 | vak 22 | vak 23 | vak 24 | vak 25 | vak 26 | vak 27 | vak 28 | vak 29 | vak 30 |
| 7,5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 10 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 12,5 | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | | | 1.0 |
| 15 | 1.0 | 1.0 | | | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | | | |
| 17,5 | 1.0 | | | | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | | | |
| 20 | 1.0 | | | | 1.0 | | | 1.0 | | 1.0 | | | | | |
| diepte sprong-laag (m NAP) | **Scenario 1A** | | | | | | | | | | | | | | |
| | vak 16 | vak 17 | vak 18 | vak 19 | vak 20 | vak 21 | vak 22 | vak 23 | vak 24 | vak 25 | vak 26 | vak 27 | vak 28 | vak 29 | vak 30 |
| 7,5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 10 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 12,5 | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | | | 1.0 |
| 15 | 1.0 | 1.0 | | | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | | | |
| 17,5 | 1.0 | | | | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | | | |
| 20 | 1.0 | | | | 1.0 | | | 1.0 | | 1.0 | | | | | |
| diepte sprong-laag (m NAP) | **Scenario 1B** | | | | | | | | | | | | | | |
| | vak 16 | vak 17 | vak 18 | vak 19 | vak 20 | vak 21 | vak 22 | vak 23 | vak 24 | vak 25 | vak 26 | vak 27 | vak 28 | vak 29 | vak 30 |
| 7,5 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 10 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 12,5 | 1.1 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.1 | 1.0 | | | | 1.0 |
| 15 | 1.1 | 1.0 | | | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | | | |
| 17,5 | 1.1 | | | | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | | | |
| 20 | 1.1 | | | | 1.0 | | | 0.9 | | 1.0 | | | | | |
| diepte sprong-laag (m NAP) | **Scenario 2A** | | | | | | | | | | | | | | |
| | vak 16 | vak 17 | vak 18 | vak 19 | vak 20 | vak 21 | vak 22 | vak 23 | vak 24 | vak 25 | vak 26 | vak 27 | vak 28 | vak 29 | vak 30 |
| 7,5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.9 |
| 10 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | 0.9 | 0.9 | | 0.9 | 1.0 | 0.9 |
| 12,5 | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 0.8 | 0.8 | | | | 0.9 |
| 15 | 1.0 | 1.0 | | | 1.0 | | 1.0 | 0.9 | | 0.7 | 0.8 | | | | |
| 17,5 | 1.0 | | | | 1.0 | | 1.0 | 0.9 | | 0.8 | 0.9 | | | | |
| 20 | 1.0 | | | | 0.9 | | | 0.9 | | 0.8 | | | | | |
| diepte sprong-laag (m NAP) | **Scenario 2B** | | | | | | | | | | | | | | |
| | vak 16 | vak 17 | vak 18 | vak 19 | vak 20 | vak 21 | vak 22 | vak 23 | vak 24 | vak 25 | vak 26 | vak 27 | vak 28 | vak 29 | vak 30 |
| 7,5 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.2 | 1.1 | 0.9 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.4 | 1.0 | 1.1 | 1.1 | 1.4 |
| 10 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | | 1.2 | 1.5 | | 0.9 | 0.9 | 1.4 |
| 12,5 | 1.1 | 1.1 | | 1.0 | 1.1 | | 1.0 | 1.1 | | 1.2 | 1.6 | | | | 1.1 |
| 15 | 1.1 | 1.1 | | | 1.2 | | 1.0 | 1.2 | | 1.2 | 1.5 | | | | |
| 17,5 | 1.1 | | | | 1.1 | | 1.1 | 1.1 | | 1.2 | 1.2 | | | | |
| 20 | 1.1 | | | | 1.2 | | | 1.2 | | 1.1 | | | | | |
| diepte sprong-laag (m NAP) | **Scenario 3A** | | | | | | | | | | | | | | |
| | vak 16 | vak 17 | vak 18 | vak 19 | vak 20 | vak 21 | vak 22 | vak 23 | vak 24 | vak 25 | vak 26 | vak 27 | vak 28 | vak 29 | vak 30 |
| 7,5 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| 10 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | 0.8 | 0.8 | | 0.8 | 0.9 | 1.0 |
| 12,5 | 1.1 | 1.0 | | 1.0 | 0.9 | | 1.1 | 0.9 | | 0.7 | 0.7 | | | | 1.2 |
| 15 | 1.1 | 0.9 | | | 0.8 | | 1.0 | 0.9 | | 0.6 | 0.7 | | | | |
| 17,5 | 1.0 | | | | 0.8 | | 1.0 | 0.9 | | 0.6 | 0.8 | | | | |
| 20 | 1.1 | | | | 0.8 | | | 0.9 | | 0.6 | | | | | |

| diepte sponglaag (m NAP) | Scenario 3B | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | vak 16 | vak 17 | vak 18 | vak 19 | vak 20 | vak 21 | vak 22 | vak 23 | vak 24 | vak 25 | vak 26 | vak 27 | vak 28 | vak 29 | vak 30 |
| 7,5 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.3 | 1.0 | 1.1 | 1.1 | 1.2 |
| 10 | 1.3 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | | 1.2 | 1.4 | | 1.0 | 1.0 | 1.1 |
| 12,5 | 1.2 | 1.0 | | 1.0 | 1.1 | | 1.0 | 1.2 | | 1.3 | 1.4 | | | | 1.0 |
| 15 | 1.2 | 1.0 | | | 1.2 | | 1.1 | 1.1 | | 1.2 | 1.4 | | | | |
| 17,5 | 1.2 | | | | 1.1 | | 1.2 | 1.1 | | 1.2 | 1.1 | | | | |
| 20 | 1.1 | | | | 1.2 | | | 1.1 | | 1.1 | | | | | |

| diepte sponglaag (m NAP) | Scenario 3C | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | vak 16 | vak 17 | vak 18 | vak 19 | vak 20 | vak 21 | vak 22 | vak 23 | vak 24 | vak 25 | vak 26 | vak 27 | vak 28 | vak 29 | vak 30 |
| 7,5 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 1.0 |
| 10 | 1.2 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | 0.9 | 0.9 | | 0.9 | 0.9 | 1.1 |
| 12,5 | 1.2 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 0.9 | 0.9 | | | | 1.3 |
| 15 | 1.1 | 0.9 | | | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 0.8 | 0.9 | | | | |
| 17,5 | 1.1 | | | | 1.0 | | 1.0 | 0.9 | | 0.9 | 0.9 | | | | |
| 20 | 1.1 | | | | 1.0 | | | 1.0 | | 0.9 | | | | | |

| diepte sponglaag (m NAP) | Scenario 4 | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | vak 16 | vak 17 | vak 18 | vak 19 | vak 20 | vak 21 | vak 22 | vak 23 | vak 24 | vak 25 | vak 26 | vak 27 | vak 28 | vak 29 | vak 30 |
| 7,5 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 10 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | 0.9 | 0.9 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 12,5 | 0.9 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 0.9 | 0.9 | | | | 1.0 |
| 15 | 0.9 | 1.0 | | | 0.9 | | 1.0 | 0.9 | | 0.8 | 0.9 | | | | |
| 17,5 | 0.9 | | | | 0.9 | | 1.0 | 0.9 | | 0.8 | 1.0 | | | | |
| 20 | 1.0 | | | | 1.0 | | | 1.0 | | 0.9 | | | | | |

| diepte sponglaag (m NAP) | Scenario 5 | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | vak 16 | vak 17 | vak 18 | vak 19 | vak 20 | vak 21 | vak 22 | vak 23 | vak 24 | vak 25 | vak 26 | vak 27 | vak 28 | vak 29 | vak 30 |
| 7,5 | 0.5 | 1.1 | 0.9 | 1.1 | 0.9 | 1.2 | 0.9 | 1.0 | 0.8 | 1.1 | 1.5 | 1.0 | 1.1 | 1.1 | 1.3 |
| 10 | 0.4 | 1.3 | 1.0 | 1.2 | 0.9 | 1.2 | 1.0 | 1.1 | | 1.1 | 1.6 | | 0.9 | 0.9 | 1.4 |
| 12,5 | 0.4 | 1.7 | | 1.3 | 1.1 | | 1.1 | 1.2 | | 1.3 | 1.6 | | | | 1.0 |
| 15 | 0.4 | 1.4 | | | 1.2 | | 1.2 | 1.3 | | 1.3 | 1.5 | | | | |
| 17,5 | 0.5 | | | | 1.1 | | 1.3 | 1.3 | | 1.3 | 1.2 | | | | |
| 20 | 0.7 | | | | 1.1 | | | 1.3 | | 1.2 | | | | | |

Tabel 5.6 Relatieve verblijftijd ***in de onderlaag*** op basis van dispersief transport voor de verschillende beheersvarianten ten opzichte van de Scenario 0 – groene arcering: verblijftijd neemt meer dan 5% toe ten opzichte van Scenario 0; rode arcering: verblijftijd neemt meer dan 5% af ten opzichte van Scenario 0

| diepte sponglaag (m NAP) | Scenario 0 | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | vak 16 | vak 17 | vak 18 | vak 19 | vak 20 | vak 21 | vak 22 | vak 23 | vak 24 | vak 25 | vak 26 | vak 27 | vak 28 | vak 29 | vak 30 |
| 7,5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 10 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 12,5 | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | | | 1.0 |
| 15 | 1.0 | 1.0 | | | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | | | |
| 17,5 | 1.0 | | | | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | | | |
| 20 | 1.0 | | | | 1.0 | | | 1.0 | | 1.0 | | | | | |

| diepte sponglaag (m NAP) | Scenario 1A | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | vak 16 | vak 17 | vak 18 | vak 19 | vak 20 | vak 21 | vak 22 | vak 23 | vak 24 | vak 25 | vak 26 | vak 27 | vak 28 | vak 29 | vak 30 |
| 7,5 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.1 |
| 10 | 0.9 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.1 | | 1.1 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 12,5 | 0.9 | 1.1 | | 1.0 | 0.9 | | 1.0 | 1.1 | | 1.1 | 1.0 | | | | 1.0 |
| 15 | 1.0 | 1.1 | | | 1.0 | | 1.0 | 0.9 | | 1.0 | 1.0 | | | | |
| 17,5 | 1.0 | | | | 0.9 | | 1.0 | 1.1 | | 0.9 | 0.9 | | | | |
| 20 | 0.9 | | | | 1.2 | | | 1.1 | | 1.1 | | | | | |

| diepte spronglaag (m NAP) | vak 16 | vak 17 | vak 18 | vak 19 | vak 20 | vak 21 | vak 22 | vak 23 | vak 24 | vak 25 | vak 26 | vak 27 | vak 28 | vak 29 | vak 30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Scenario 1B** | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,5 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 10 | 2.0 | 0.9 | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | | 0.9 | 0.9 | | 1.0 | 1.0 | 0.9 |
| 12,5 | 1.5 | 1.0 | | 1.0 | 1.1 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | | | 1.0 |
| 15 | 1.8 | 1.0 | | | 1.0 | | 0.8 | 0.9 | | 0.8 | 1.0 | | | | |
| 17,5 | 1.6 | | | | 1.1 | | 1.0 | 1.0 | | 1.0 | 1.0 | | | | |
| 20 | 0.7 | | | | 0.3 | | | 1.6 | | 4.1 | | | | | |
| **Scenario 2A** | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,5 | 0.7 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.7 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.7 |
| 10 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.4 | 0.9 | 0.6 | 0.7 | | 0.4 | 0.6 | | 1.8 | 1.2 | 0.9 |
| 12,5 | 1.0 | 0.9 | | 1.0 | 0.6 | | 0.6 | 0.8 | | 0.3 | 0.8 | | | | 0.8 |
| 15 | 0.8 | 0.9 | | | 1.0 | | 0.8 | 0.7 | | 0.5 | 0.9 | | | | |
| 17,5 | 0.8 | | | | 1.0 | | 1.1 | 0.9 | | 0.6 | 0.7 | | | | |
| 20 | 1.0 | | | | 0.4 | | | 0.7 | | 0.5 | | | | | |
| **Scenario 2B** | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,5 | 4.0 | 1.2 | 2.0 | 1.3 | 3.7 | 1.7 | 2.8 | 4.3 | 2.1 | 8.8 | 18.9 | 40.7 | 35.4 | 35.1 | 51.9 |
| 10 | 2.1 | 1.7 | 1.4 | 1.3 | 10.1 | 1.4 | 5.8 | 7.9 | | 12.8 | 43.8 | | 53.7 | 5.0 | 2.3 |
| 12,5 | 1.3 | 1.5 | | 1.2 | 3.4 | | 2.0 | 1.8 | | 3.7 | 18.4 | | | | 1.3 |
| 15 | 1.2 | 1.4 | | | 1.8 | | 1.0 | 1.6 | | 1.9 | 3.6 | | | | |
| 17,5 | 1.0 | | | | 2.1 | | 1.3 | 2.0 | | 4.8 | 55.0 | | | | |
| 20 | 2.5 | | | | 6.1 | | | 3.6 | | 4.3 | | | | | |
| **Scenario 3A** | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,5 | 0.4 | 0.9 | 0.7 | 1.0 | 0.5 | 0.9 | 0.6 | 0.7 | 1.0 | 0.8 | 1.0 | 1.5 | 1.9 | 1.3 | 4.1 |
| 10 | 1.6 | 0.8 | 0.6 | 1.0 | 0.2 | 0.9 | 0.4 | 0.5 | | 0.4 | 0.9 | | 4.2 | 1.4 | 1.2 |
| 12,5 | 1.3 | 0.8 | | 1.2 | 0.2 | | 0.2 | 0.5 | | 0.2 | 0.9 | | | | 1.8 |
| 15 | 1.6 | 0.9 | | | 0.8 | | 0.5 | 0.3 | | 0.4 | 0.7 | | | | |
| 17,5 | 1.3 | | | | 0.7 | | 0.8 | 0.7 | | 0.4 | 0.5 | | | | |
| 20 | 1.1 | | | | 0.1 | | | 0.4 | | 0.4 | | | | | |
| **Scenario 3B** | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,5 | 4.2 | 1.1 | 1.4 | 1.1 | 2.0 | 1.3 | 1.9 | 2.6 | 1.3 | 4.0 | 5.0 | 2.0 | 6.9 | 4.6 | 7.4 |
| 10 | 4.7 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 10.1 | 1.1 | 5.0 | 4.4 | | 11.4 | 19.9 | | 22.4 | 3.8 | 1.9 |
| 12,5 | 2.2 | 1.2 | | 1.1 | 4.2 | | 2.3 | 1.7 | | 3.8 | 9.1 | | | | 1.1 |
| 15 | 3.5 | 1.2 | | | 1.7 | | 2.1 | 1.8 | | 2.1 | 2.1 | | | | |
| 17,5 | 4.5 | | | | 2.9 | | 1.4 | 2.4 | | 4.2 | 11.1 | | | | |
| 20 | 11.5 | | | | 5.2 | | | 3.5 | | 2.6 | | | | | |
| **Scenario 3C** | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,5 | 0.8 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 1.2 | 1.8 | 1.3 | 3.7 |
| 10 | 2.7 | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 0.5 | 0.9 | 0.6 | 0.6 | | 0.6 | 0.8 | | 2.1 | 1.4 | 1.3 |
| 12,5 | 1.6 | 0.8 | | 0.9 | 0.7 | | 0.6 | 0.8 | | 0.4 | 0.8 | | | | 2.9 |
| 15 | 1.8 | 0.9 | | | 1.0 | | 0.9 | 0.6 | | 0.5 | 0.8 | | | | |
| 17,5 | 1.8 | | | | 1.1 | | 0.9 | 1.0 | | 0.7 | 0.7 | | | | |
| 20 | 1.4 | | | | 0.4 | | | 0.7 | | 0.7 | | | | | |
| **Scenario 4** | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7,5 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| 10 | 0.8 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.5 | 1.0 | 0.7 | 0.8 | | 0.5 | 0.4 | | 0.6 | 0.8 | 0.7 |
| 12,5 | 0.8 | 0.9 | | 1.0 | 0.7 | | 0.6 | 0.8 | | 0.5 | 0.6 | | | | 0.9 |
| 15 | 0.8 | 1.0 | | | 0.9 | | 0.8 | 0.8 | | 0.6 | 0.9 | | | | |
| 17,5 | 0.7 | | | | 0.9 | | 1.0 | 0.9 | | 0.7 | 0.8 | | | | |
| 20 | 0.8 | | | | 0.3 | | | 0.8 | | 0.7 | | | | | |

| diepte spronglaag (m NAP) | Scenario 5 | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | vak 16 | vak 17 | vak 18 | vak 19 | vak 20 | vak 21 | vak 22 | vak 23 | vak 24 | vak 25 | vak 26 | vak 27 | vak 28 | vak 29 | vak 30 |
| 7,5 | 0.5 | 2.8 | 5.3 | 2.6 | 5.9 | 3.5 | 5.1 | 7.1 | 4.9 | 16.4 | 36.5 | 129.5 | 42.7 | 47.9 | 73.9 |
| 10 | 0.2 | 3.3 | 1.8 | 1.8 | 0.9 | 1.7 | 5.8 | 5.0 | | 13.3 | 66.3 | | 96.8 | 11.8 | 2.4 |
| 12,5 | 0.2 | 2.5 | | 1.3 | 0.7 | | 1.9 | 1.7 | | 3.8 | 42.8 | | | | 1.2 |
| 15 | 0.1 | 3.8 | | | 1.5 | | 1.0 | 2.0 | | 2.9 | 17.9 | | | | |
| 17,5 | 0.1 | | | | 2.6 | | 1.3 | 6.4 | | 8.3 | 167.1 | | | | |
| 20 | 0.1 | | | | 6.6 | | | 10.4 | | 25.0 | | | | | |

Het verhogen van het Brouwerssluisdebiet van 125 $m^3/s$ (Scenario 0) naar 135 $m^3/s$ (Scenario 1A) heeft geen significant effect op de berekende advectieve verblijftijd: de relatieve verblijftijd blijft gelijk aan 1,0. De toename is te gering om voor een groter verschil te zorgen. Dispersief ontstaat een onduidelijker beeld. Soms wordt de verblijftijd iets kleiner, soms iets groter.

Het verlagen van het Brouwerssluisdebiet van 125 $m^3/s$ (Scenario 0) naar 75 $m^3/s$ (Scenario 1B) resulteert in een grotere advectieve verblijftijd bij de Brouwerssluis, omdat de doorspoeling van de onderlaag minder wordt door het lagere debiet. Ook hier geeft het dispersieve transport een gemengd beeld.

Het uitwisselen met zowel de Brouwerssluis als de Flakkeese Spuisluis leidt tot een lagere verblijftijd in het oostelijk deel van het Grevelingenmeer (Scenario 2A). De uitwisseling door de Flakkeese Spuisluis zorgt hier voor meer dynamiek. De stratificatie lijkt echter wat toe te nemen, omdat de dispersieve verblijftijd meer dan 5% toeneemt ten opzichte van Scenario 0. In het westelijke en centrale deel van het Grevelingenmeer neemt de dispersieve verblijftijd af.

Als de Oosterschelde minder zout wordt (Scenario 2A), leidt dit tot een toename van de advectieve verblijftijd en vooral de dispersieve verblijftijd. De sterkere stratificatie zorgt ervoor dat de onderlaag minder snel ververst wordt met Oosterschelde- of Noordzeewater. De uitwisseling zal meer met de bovenlaag geschieden.

Het doorspoelen van het Grevelingenmeer van oost naar west (Scenario 3A) leidt tot een lagere advectieve verblijftijd in het oostelijke en centrale deel. Alleen in de onderlaag bij de Brouwerssluis neemt de advectieve verblijftijd toe, omdat het debiet door de Brouwerssluis vermindert. De dispersieve verblijftijd neemt toe in het oostelijk deel en bij de Brouwerssluis en neemt af in het overige deel.

Net als in Scenario 2B leidt een lager zoutgehalte in de Oosterschelde in Scenario 3B tot een toename van vooral de dispersieve verblijftijd.

Scenario 3C dat met een gemeten zoutgehalte op de Oosterschelde in plaats van een vaste waarde rekent, laat qua verblijftijd een vergelijkbaar beeld zien als Scenario 3A dat met een constant zoutgehalte rekent.

Het doorspoelen van west naar oost (Scenario 4) leidt soms tot een kleine verlaging van de advectieve verblijftijd. De dispersieve verblijftijd wordt in het grootste deel van het meer korter.

In Scenario 5 komt een aantal aspecten samen. Het hogere debiet door de Brouwerssluis leidt tot een lagere verblijftijd bij de sluis. Het lagere zoutgehalte op de Oosterschelde leidt ook hier tot een toename van de verblijftijd in het centrale en oostelijke deel van het Grevelingenmeer.

## 5.4 Vergelijking met het Veerse Meer

In de zuidwestelijke Delta is het Veerse Meer het meest gelijkende watersysteem. Het is net als het Grevelingenmeer een zout meer met een beperkt getij en het heeft uitwisseling met de Oosterschelde via een kunstwerk (de Katse Heule). Het voornaamste verschil bestaat uit de hoeveelheid zoetwater die vanuit de omliggende polders wordt uitgeslagen, ten opzichte van de afmeting van het systeem. Voor het Veerse Meer is dit gemiddeld circa 7 $mm/m^2.d$; voor het Grevelingenmeer circa 1 $mm/m^2.d$. Het Veerse Meer is daardoor zoeter dan het Grevelingenmeer.

Het verschil in zoutgehalte aan beide kanten van het kunstwerk is van belang voor de uitwisseling. Oosterscheldewater dat via de Katse Heule het Veerse Meer instroomt, zal veelal een hogere dichtheid hebben en daardoor langs de bodem de putten verversen. Aangezien de Noordzee en de Oosterschelde ongeveer het zelfde zoutgehalte hebben als het Grevelingenmeer, zal water dat via de Brouwerssluis of de Flakkeese spuisluis komt minder effectief de onderlaag verversen. In sommige gevallen zal de dichtheid van Noordzee- of Oosterscheldewater zelfs lager zijn dan het water in het Grevelingen, waardoor in het geheel geen verversing van de onderlaag zal plaatsvinden. Als de Oosterschelde een lager zoutgehalte heeft dan het Grevelingenmeer, zal verversing van de onderlaag nog verder afnemen.

Door de grotere polderlozingen is de nutriëntenbelasting op het Veerse Meer hoger dan op de Grevelingen. Dit wordt gereflecteerd in de chlorofylconcentratie, vooral in de voorjaarsbloei:

- Veerse Meer voorjaarsbloei: 50-80 µg/l zomer: 5-10 µg/l
- Grevelingenmeer voorjaarsbloei: 15-35 µg/l zomer: 5 µg/l

Op basis hiervan is de verwachting dat een grotere nutriëntenbelasting zal leiden tot meer chlorofyl in het Grevelingenmeer.

# 6 Samenvatting en conclusies

De Flakkeese spuisluis is een hevel in de Grevelingendam tussen het Grevelingenmeer en de Oosterschelde. Momenteel is de Flakkeese spuisluis niet in gebruik, maar er zijn plannen om met de spuisluis meer dynamiek in het Grevelingenmeer te creëren. RIKZ (2005) heeft een voorverkenning gerapporteerd naar de mogelijkheden voor de introductie van meer dynamiek via de hevel.

Deze rapportage richt zich op de effecten die de ingebruikname van de Flakkeese spuisluis heeft op de hydrodynamica en waterkwaliteit. In aanvulling op RIKZ (2005) die een 2D aanpak had, richtte deze studie zich nadrukkelijk op mogelijke 3D effecten: de mate van stratificatie en de mogelijke gevolgen voor zuurstofloosheid en primaire productie. Dit is gedaan voor een aantal verschillende beheersscenario's. De scenario's variëren met betrekking tot het debiet door de Brouwerssluis, het debiet door de Flakkeese spuisluis en het zoutgehalte van de Oosterschelde ter hoogte van de Flakkeese spuisluis.

### Peilvariatie

In Tabel 1.1 is de verwachte getijslag weergegeven. In het scenario (5) waarin via de Brouwerssluis 500 $m^3/s$ wordt uitgewisseld, bedraagt de getijslag 11 cm. Hier bovenop komt de waterstandvariatie als gevolg van windopzet. Deze bedraagt maximaal 10 cm bij stormcondities en is onafhankelijk van het beheersscenario. De waterstandvariatie als gevolg van peilbeheer is niet meegenomen.

### Hydrodynamisch model (Delft3D)

Om de 3D aspecten te onderzoeken is een 3D hydrodynamisch model opgezet. Het Delft3D-FLOW model is gebaseerd op de 2D SIMONA modelschematisatie, die beschikbaar is gesteld door Rijkswaterstaat. Hoewel geen modelkalibratie is uitgevoerd, is in hoofdstuk 2 en 3 aangetoond dat het 3D Grevelingen model goed tot zeer goed de gemeten watertemperatuur en saliniteit reproduceert.

### Effect op zoutgehalte en stratificatie

De zoute beheersscenario's laten een beperkt verschil zien in zoutgehalte en verticaal dichtheidsverschil. Wanneer aangenomen wordt dat de Oosterschelde minder zout wordt (2B, 3B, 5), resulteert dit in het Grevelingenmeer tot een 2 tot 4 ppt lager zoutgehalte in het Grevelingenmeer. De zoutgradiënt is het grootst bij maximale estuariene dynamiek (500 $m^3/s$ uitwisseling via de Brouwerssluis en minder zout water via de Flakkeese spuisluis vanaf de Oosterschelde).

Tabel 6.1 Gemiddeld zoutgehalte (in ppt) en gemiddeld verticaal dichtheidsverschil (in kg/m$^3$) op drie locaties in het Grevelingenmeer

| Beheersscenario | West (nabij de Brouwerssluis) | | Centraal (Dreischor) | | Oost (nabij de Flakkeese spuisluis) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | zout-gehalte | verticaal dicht-heidsverschil | zout-gehalte | verticaal dicht-heidsverschil | zout-gehalte | verticaal dicht-heidsverschil |
| Brouwerssluis 125 m$^3$/s | 29,8 | 1,9 | 29,0 | 0,6 | 28,8 | 0,1 |
| Brouwerssluis 135 m$^3$/s | 29,9 | 1,9 | 29,1 | 0,6 | 28,9 | 0,2 |
| Brouwerssluis 75 m$^3$/s | 29,1 | 2,0 | 28,3 | 0,6 | 28,1 | 0,1 |
| Uitwissel max | 30,0 | 1,8 | 29,4 | 0,5 | 29,4 | 0,2 |
| Uitwissel max met lager zoutgehalte op de Oosterschelde | 28,5 | 2,7 | 27,3 | 1,4 | 25,9 | 1,2 |
| Doorspoel oost -west | 29,1 | 1,7 | 28,8 | 0,3 | 29,0 | 0,3 |
| Doorspoel oost-west met lager zoutgehalte op de Oosterschelde | 25,9 | 3,1 | 25,1 | 1,2 | 24,4 | 0,6 |
| Doorspoel oost-west met gemeten zoutgehalte op de Oosterschelde | 28,4 | 2,0 | 27,9 | 0,5 | 27,9 | 0,3 |
| Doorspoel west-oost | 30,4 | 1,6 | 29,7 | 0,5 | 29,5 | 0,1 |
| Brouwerssluis 500 m$^3$/s, Flakkeese spuisluis 65 m$^3$/s en lager zoutgehalte op de Oosterschelde | 30,3 | 1,9 | 28,7 | 1,7 | 26,5 | 2,0 |

### Verversing

Meer uitwisseling betekent intuïtief meer verversing. Tabel 5.4 en Tabel 5.5 hebben laten zien dat de verversing niet overal op dezelfde manier reageert in een beheersscenario. Vooral de beheersscenario's met een minder zoute Oosterschelde leiden tot minder verversing in de onderlaag, waardoor het risico op zuurstofloosheid toeneemt.

### Nutriënten en primaire productie

De stikstofconcentratie in het Grevelingenmeer is lager dan in de Noordzee, de Oosterschelde en Rijnwater. Primaire productie in het Grevelingenmeer is dan ook stikstof-gelimiteerd. Een grotere uitwisseling met de Noordzee of de Oosterschelde zal resulteren in een toename van de beschikbaarheid van stikstof en dus in een lagere stikstoflimitatie. Een reële schatting lijkt dat de stikstofconcentratie circa 10% toeneemt, hetgeen kan resulteren in circa 5% meer chlorofyl in het zomerhalfjaar (zie Figuur 5.8).

Als Rijnwater via het Volkerak-Zoommeer en de Oosterschelde naar de Noordzee stroomt, zal de stikstofconcentratie 25% tot 50% toenemen. De chlorofylconcentratie zal dan waarschijnlijk met circa 25% toenemen. De toename blijft enigszins beperkt, doordat de limitatie omslaat van stikstof naar licht. Een gedetailleerde analyse is echter nodig, om dit effect nauwkeuriger te kwantificeren.

Aangezien de spronglaag in alle beheersscenario's aanzienlijk dieper ligt dan de Secchi-diepte, wordt het beschikbare licht in de bovenlaag gebruikt voor primaire productie. Het is daarom niet te verwachten dat de algensamenstelling zal wijzigen.

### Zuurstofloosheid

Zuurstofloosheid komt momenteel voor in het Grevelingenmeer. De sturende factoren voor het ontstaan van zuurstofloosheid zijn het verticale dichtheidsverschil, de flux van organisch materiaal, de dikte van de onderlaag en verversing. Zuurstofloosheid treedt eerder op bij:

- een groter verticaal dichtheidsverschil
- een grotere flux van organisch materiaal
- een kleinere onderlaag
- minder verversing (met zuurstofrijk water) ofwel een grotere verblijftijd

In de beheersscenario's waarin de Oosterschelde zout is, blijft het verticale dichtheidsverschil ongeveer gelijk aan de huidige situatie. De beide doorspoelscenario's (3A: van oost naar west, en 4: van west naar oost) leiden tot wat lagere dichtheidsverschillen. In deze beheersscenario's neemt naar verwachting primaire productie iets toe en daardoor de flux van organisch materiaal naar de onderlaag. Tot slot neemt de verblijftijd over het algemeen wat af. Omdat de sturende factoren niet allemaal dezelfde kant op wijzen wat betreft meer of minder zuurstofloosheid, is het niet eenvoudig om een kwalitatieve beoordeling te geven. Hiervoor kan een gedetailleerde modelberekening uitkomst bieden. Aangezien de beheersscenario's niet enorm afwijken van de huidige situatie, is de verwachting dat een zelfde mate van zuurstofloosheid zal blijven optreden in het Grevelingenmeer.

In de beheersscenario's met een minder zoute Oosterschelde neemt het verticale dichtheidsverschil toe, neemt de primaire productie toe en dus ook de flux van organisch materiaal en neemt de verversing af. Aangezien deze sturende factoren dezelfde richting op wijzen wat betreft zuurstofloosheid, is het zeer aannemelijk dat zuurstofloosheid in het Grevelingen in deze beheersscenario's gaat toenemen.

### Per beheersscenario

1. Bij een kleine verhoging van het uitwisseldebiet door de Brouwerssluis (135 $m^3/s$ in plaats van 125 $m^3/s$; Scenario 1A) zullen hydrodynamica en waterkwaliteit nagenoeg onveranderd zijn. Zuurstofloosheid zal in de zelfde mate blijven voorkomen. Een aanzienlijk lager uitwisseldebiet door de Brouwerssluis (75 $m^3/s$; Scenario 1B) heeft geen effect op de mate van stratificatie. De verblijftijd nabij de Brouwerssluis neemt toe; in de rest van het Grevelingenmeer verandert de verblijftijd niet. In combinatie met de wat grotere beschikbaarheid van nutriënten neemt zuurstofloosheid mogelijk iets toe.

2. Zowel het vergroten van het totale uitwisseldebiet door ingebruikname van de Flakkeese Spuisluis (Scenario 2A) als het doorspoelen van oost naar west door gebruik van de Flakkeese spuisluis (Scenario 3A; Oosterschelde is volledig zout) leiden tot een enigszins kleinere mate van stratificatie en over het algemeen tot een korte verblijftijd. Omdat de stikstofconcentratie op de Noordzee en op de Oosterschelde hoger is dan op het Grevelingenmeer, neemt stikstofconcentratie op het Grevelingenmeer toe en – omdat stikstoflimitatie minder wordt – neemt eveneens de primaire productie enigszins toe. In deze Scenario's zal derhalve het risico op zuurstofloosheid mogelijk iets afnemen, maar waarschijnlijk blijft de mate van stratificatie zodanig groot dat zuurstofloosheid niet geheel voorkomen zal worden.

3. Het doorspoelen van west naar oost geeft een wisselend beeld. De mate van stratificatie is soms meer, soms minder. Hetzelfde geldt voor de beschikbaarheid van nutriënten. Het is waarschijnlijk dat zuurstofloosheid blijft voorkomen.

4. De beheersvarianten waarin de Oosterschelde 20% minder zout is, resulteren in een grotere mate van stratificatie, een grotere beschikbaarheid van nutriënten en daardoor een grotere flux van organisch koolstof naar de onderlaag, en een grotere verblijftijd. Alle factoren vergroten het risico op zuurstofloosheid.

## Aanbevelingen

Het 3D hydrodynamisch model is zeer geschikt gebleken om het effect van beheersscenario's op de hydrodynamica te kwantificeren. Hoewel het deskundigenoordeel voor waterkwaliteit en primaire productie soms ook kwantitatief is, is een deel van de beoordeling noodgedwongen kwalitatief. Indien een verdere kwantificering gewenst is, is dat zeer goed mogelijk met het GEM-model instrumentarium, dat ook in het Veerse Meer en in het Volkerak-Zoommeer is toegepast.

Zowel de Brouwerssluis als de Flakkeese spuisluis moeten gezien worden als twee regelknoppen die – onder andere – de hydrodynamica en waterkwaliteit van het Grevelingenmeer kunnen sturen. In deze studie zijn de regelknoppen zeer grof afgesteld om indicatief de grootschalige effecten te bekijken en te vergelijken. Zo staat de Flakkeese spuisluis bijvoorbeeld het hele jaar door op 65 $m^3/s$. Het is goed denkbaar dat optimalisatie mogelijk is door op strategische momenten anders om te gaan met (een van de) regelknoppen. Zo zou de import van een algenbloei vermeden moeten worden om de nutriëntenbelasting te minimaliseren. In het detail beheersplan zou hier aandacht aan besteed kunnen worden.

# Referenties

Los, F.J. and J.W.M. Wijsman (2006): Application of a validated primary production model (BLOOM) as a screening tool for marine, coastal and transitional waters, Journal of Marine Systems, accepted.

RIKZ (2002): Grevelingenmeer: van kwetsbaar naar weerbaar?, Een beschrijving van de ontwikkelingen van 1996 tot 2001 en een toetsing aan het beleid, RIKZ/2002.033, H.J. Hoeksema, 60 p., 2002.

RIKZ (2005): Het Grevelingenmeer in beweging, voorverkenning naar de mogelijkheden voor de introductie van meer dynamiek via de hevel, Werkdocument RIKZ/ZDO/2005.801.w, Herman Haas, Edwin Snippen en Kees van der Male, januari 2005.